

国防科技大学
学术著作专项
经费资助出版

174

光电对抗技术

李世祥 编著

国防科技大学出版社
湖南·长沙

本书论述了光电对抗技术各方面的基本原理及其应用。全书内容
含有光电侦察技术、光电干扰技术、光电反侦察反干扰技术、光电摧
毁与反摧毁以及光电对抗效果评价等,本书可作为相关专业本科生的
教学参考书,亦可供对电子战技术有兴趣的读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

光电对抗技术:/李世祥编著. —长沙:国防科技大学出版社,
2000. 3
ISBN 7-81024-574-0

I. 光… I. 李… III. 光电-对抗技术 IV. TN977

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 76337 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4555681 邮政编码:410073
E-mail:gfkdcbs@public.cs.hn.cn
责任编辑:文 慧 责任校对:黄八一
新华书店总店北京发行所经销
长沙交通学院印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张:11.75 字数:295 千
2000年3月第1版第1次印刷 印数:1—1000册

*

定价:28.00 元

前 言

现代战争中,光电武器的应用越来越广泛和深入。这促进了光电对抗武器和装备的手段不断更新,促成了整个光电对抗新技术的产生和发展。电子战(主要包括雷达对抗、通信对抗和光电对抗)作为整个战争能力的一个重要组成部分,贯穿于战争全局,渗透到战争的各个方面,成为与制空权、制海权同等重要的“战略要素”。这一观点已经成为各国的共识。为了在未来战争中立于不败之地,我们不能不学习和研究光电对抗技术。

本书在绪论中概要地介绍了光电对抗各个方面的知识,随后各章对光电对抗技术的不同专题——光电侦察、光电干扰、光电反侦察反干扰、光电摧毁与反摧毁以及光电对抗效果评价等内容进行了讨论。意在抛砖引玉,期待有更多的读者关心光电对抗技术的发展。

本书可作为相关专业本科学生的教学参考书,也可供对电子战技术有兴趣的读者参考。

本书在编写出版过程中得到理学院领导和同事们以及我校出版社的大力支持与帮助,特此致谢。

作者

2000. 2

绪 论

光电对抗是电子战的一个重要的组成部分。光电武器与装备的使用越来越深入、广泛,成为不可缺少的作战工具。这也就促进了光电对抗手段的发展。各种光电对抗措施在实战中取得了惊人的成效。这使人们深刻地认识到,包括光电对抗在内的电子战已经不是传统上所认为的军事能力的辅助部分,而是整个战争能力的一个重要组成部分。

0.1 光电对抗的基本概念

0.1.1 光电对抗的含义

如前所说,光电对抗是电子战的一个重要组成部分。它是指敌对双方在紫外、可见光到红外的宽光波段上,利用各种设备和措施进行“侦察—干扰—摧毁”与“反侦察—反干扰—反摧毁”相互交错、综合的光电子斗争,以达到摧毁、破坏或削弱对方的光电设施与人员的战斗力而保证己方光电设备与人员的战斗力得到充分发挥的一切行动。

0.1.2 光电对抗的几种模式

从上面的定义可知,光电对抗实际上包含光电支援、光电攻击、光电防护三种模式。

(1) 光电支援——光电侦察

光电支援是指对敌方的光辐射进行搜索、截获、定位、分析、识

别,从而掌握和提供对方光电武器与设备的技术参数、部署和威胁企图的一切行为。

(2) 光电攻击——光电干扰与光电摧毁

光电攻击是指破坏、削弱敌方有效地运用光波波谱的能力或直接摧毁敌方的光电武器与装备而采取的一切措施。

(3) 光电防护——光电反侦察反干扰反摧毁

光电防护是指防御与破坏敌方对己方光电装备、武器或人员的发现、探测、干扰和摧毁、杀伤而采取的相应措施。

0.1.3 光电导引头工作原理

下面给出半主动激光导引头的原理方块图(如图 0-1 所示)和

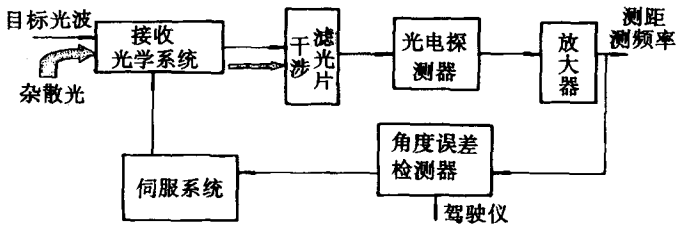


图 0-1 半主动激光导引头原理方块图

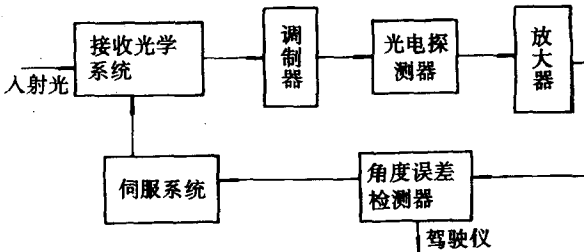


图 0-2 红外导引头原理方块图

红外导引头的原理方块图,如图 0-2 所示。图 0-3 为导引头视场示意图。为了跟踪目标,导引头必须保证目标落在其视场内,而为了对光电制导武器与装备进行有效干扰,干扰信号必须能进入光电导引回路。

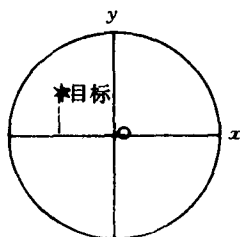


图 0-3 导引头视场图

0.2 光电侦察

0.2.1 光电侦察的功能与分类

1. 情报侦察和技术侦察

光电情报侦察的主要任务是通过定位、分析、识别光辐射来获得敌方武器与光电设备的类型、用途、数量、方位或位置、编成、部署、武器系统的配置、行动企图等,由此判明敌方的作战动态。例如,一张飞机场的红外侦察照片可以提供飞机数目、种类、活动情况等详尽的动态的有用的信息,见图 0-4。

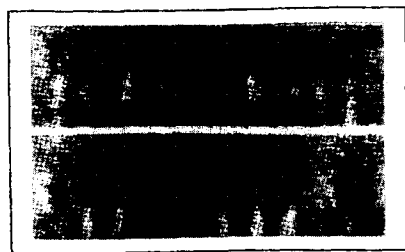


图 0-4 飞机场的红外侦察照片

技术侦察主要用来查明敌方光电装备的战术、技术性能。如发

射的光功率、波长、调制频率与调制方式、光信号特征(光脉冲宽度、脉冲频率、编码)等技术参数,为制订光电对抗措施提供依据。

2. 预先侦察和直接侦察

预先侦察主要指战前对敌方所进行的长期或定期的侦察。以便预先全面掌握敌方光电设备的情报、发展方向,为制订光电对抗的对策和直接侦察提供依据。

直接侦察是在战斗即将发生前及战斗过程中对战场光辐射环境进行的实时侦察,为光电对抗提供实时可靠的情报。

3. 主动侦察和被动侦察

主动侦察是先向对方发射光束,再对反射回来的光信号进行分析和识别。从而获得敌方有用信息的方法。

被动侦察是利用各种光电探测系统截获和跟踪敌方发出的光辐射,经分析处理和识别获得有用信息的方法。光电侦察的基本分类如图 0-5 所示。

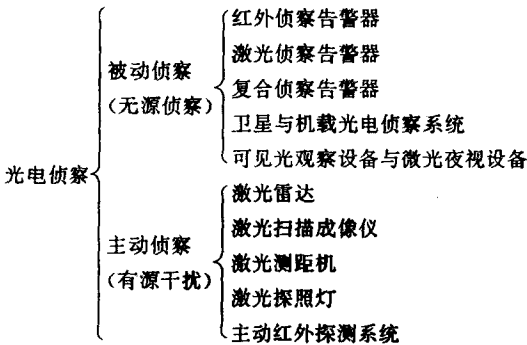


图 0-5

图 0-6 是红外侦察告警系统主动和被动两大类的组成原理图。如图 0-6 所示,图中(一)、(二)两部分组成了主动式红外侦察告警装置。

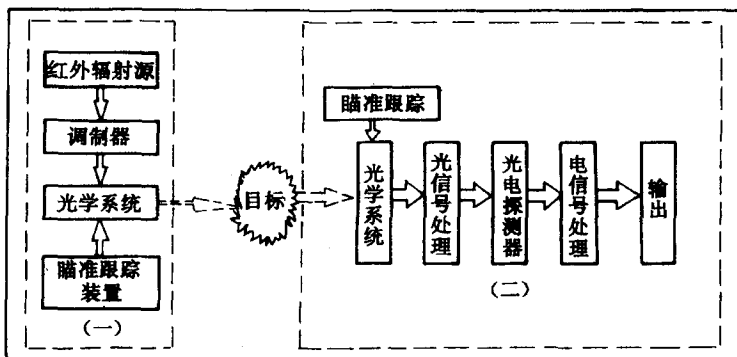


图 0-6 红外侦察告警系统主动和被动组成原理图

0.2.2 光电侦察的基本方法

目前人们常用的光电侦察的方法有以下几种：

- 利用目标的瞬时光谱和光谱能量分布特征来检测和识别目标。

例如，导弹发射时产生的尾焰在红外波段的 $2.7\mu\text{m}$ 处，有个辐射峰值，在 $4.2\mu\text{m}$ 处附近有“红” ($4.35 \sim 4.5\mu\text{m}$) 与“蓝” ($4.17 \sim 4.2\mu\text{m}$) 两色的辐射峰

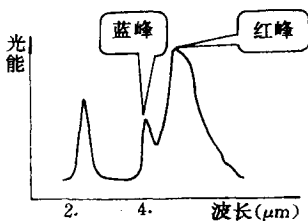


图 0-7 尾焰的波谱曲线图

值。这是探测与识别导弹发射的特征光谱，如图 0-7 所示。

- 利用目标红外辐射能量的时间特征进行鉴别。

例如，导弹从发射段、助推段到被动段，其红外辐射能量具有逐步减少的特点。

- 综合利用目标的光谱和红外辐射能的时间特征进行相关鉴

别以降低虚警率。

- 采用光电成像技术来检测与识别目标。这类方法可显著提高对目标的识别能力,大大降低虚警率。
- 利用相干光干涉原理探测激光的存在、方位和激光束的编码特性等。

0.2.3 光电侦察告警设备

1. 红外侦察告警设备

红外侦察告警设备按其承担的任务可以分为以下几类:

(1) 导弹发射测定接收机

对导弹发射测定通常使用预警卫星,它主要通过红外望远镜和红外探测器阵列实现对导弹发射的测定。

预警卫星定点在赤道上空 35780km 的地球同步轨道(静地轨道)上(如图 0-8 所示),绕自身转轴以每分钟 5~6 周转动。一旦它的望远镜和多元线阵探测器接收到导弹尾焰的特征辐射,即可探测到正在发射的导弹及其位置,发出警报并能预测导弹的弹道和大致的落地点。

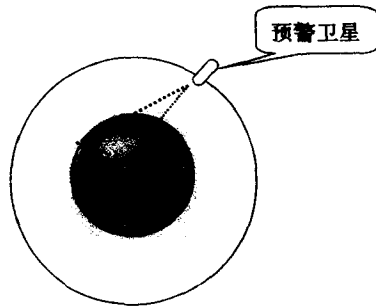


图 0-8 预警卫星工作原理

一旦它的望远镜和多元线阵探测器接收到导弹尾焰的特征辐射,即可探测到正在发射的导弹及其位置,发出警报并能预测导弹的弹道和大致的落地点。

(2) 导弹接近告警设备

导弹接近告警设备有多种,图 0-9 的 AAR-57 为其中之一种。

(3) 红外辐射源(非相干)探测定位及辐射分析记录设备。

单站红外被动定位系统可以实时测定多个辐射源的位置和运动轨迹。

(4) 几种典型的红外告警设备

① AN/AAR-44

AN/AAR-44 可以实现告警与对抗指令一体化;连续的边搜索边跟踪处理;对付多目标;多种鉴别模式来对付阳光辐射及地面与水面的辐射和反射,虚警率低。

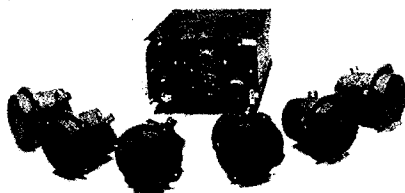


图 0-9 导弹接近告警设备 AAR-57

② 红外搜索跟踪装置 AN/SAR-8

红外搜索跟踪装置 AN/SAR-8 可探测跟踪空中目标、水面舰船,可告警、瞄准、传送、监视及进行战斗态势估计。系统的工作波段为中红外 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和远红外 $8\sim 14\mu\text{m}$,虚警率低。

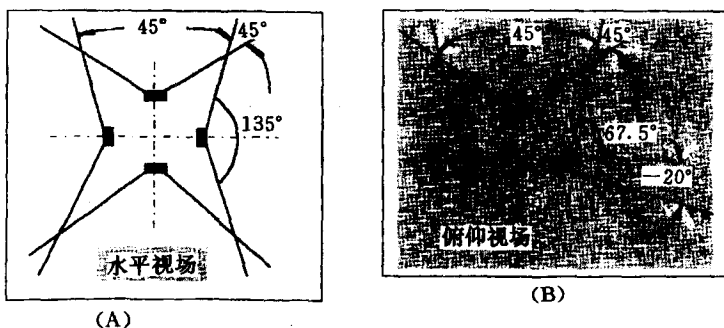
此外, SPIRTAS(以色列)、2RS-700(瑞典)、IRSCAN(荷兰)、SIR-3(意大利)及法国的 VAMPIR、VAMPORML、SPIRAL 等系统都是当前先进的红外告警系统。它们采用多元纵向线列探测器并扫技术以获得大的俯仰视场;水平方向采用 360° 旋转扫描方式;系统的工作波段为中红外 $3\sim 5\mu\text{m}$,或远红外 $8\sim 14\mu\text{m}$,或二者兼备;系统采用红外辐射的波谱、幅值、时间特征等多种手段来探测。

2. 激光侦察告警器

当前各种激光告警器按工作原理大体可分为:光谱识别型、相干识别型和散射探测型三大类。

(1) 光谱识别型

如图 0-10 所示的 RL1 是典型的光谱识别型激光告警器,它由五个光电探测器组成。水平方向放置四个,垂直方向放置一个。水平方向每一个探测头的视场水平为 135° ,垂直为 $-20^\circ\sim +67.5^\circ$,相邻两探测头的视场重迭 45° ,如图(a)所示,俯仰方向视



(a) 水平视场

(b) 俯仰视场

图 0-10 RL1 激光告警器

场分区如图(b)所示。所以 360° 水平视场分为八个独立的大小均为 45° 的区域。而整个视场($360^\circ \times 87.5^\circ$)被分割为 17 个独立的视场区域。

该激光告警器的显示器用九个发光二极管来表示激光来袭光源大致的方向,其中八个发光二极管排成一圈,分别代表水平方向 8 个 45° 的扇形视场区,圆圈中央的发光二极管表示上方。每接收一个激光脉冲,告警器还同时发出持续 2 秒的音响告警。

(2) 相干识别型

① 法布里-珀罗干涉仪

图 0-11 是法布里-珀罗干涉仪示意图。

图中:1 指光栏。2 指阶梯型法布里-珀罗标准具。3 指探测器与电信号处理器。

用一块高质量透明材料做的平板,在两个高精度平行的透明表面镀有反射率在 $40\% \sim 60\%$ 之间的半透膜,这就形成了法布里-珀罗标准具。入射光一部分透过平板,另一部分在平板内经前、后

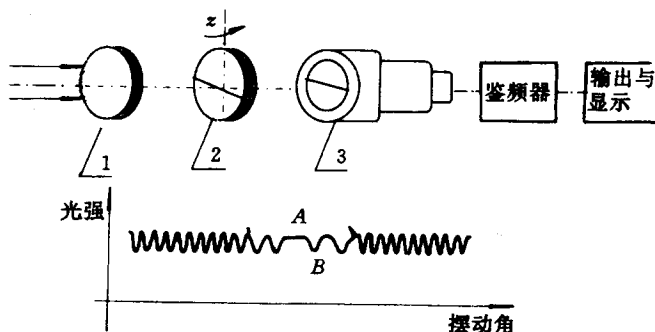


图 0-11 法布里-泊罗干涉仪型

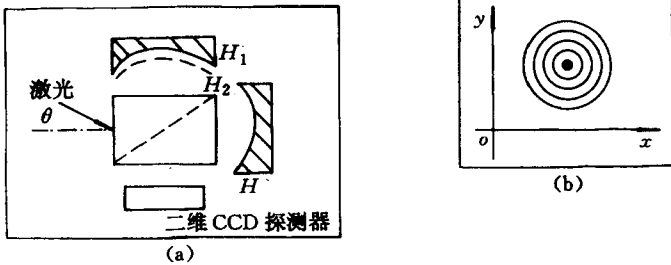
两表面反射后再穿出标准具,这两束光相干。当相邻两束光的光程差为激光波长之半的偶数倍时,相干加强,得到明亮的条纹,标准具的透过率最大;当光程差为半波长的奇数倍时,相干结果为暗纹,标准具透过率最低,绝大部分被标准具反射。由于光程差随入射角的不同而变化,故探测器探测到的光强与入射角有关。让标准具绕 z 轴(垂直于透光面法线)周期性左右摆动,于是落在探测器上的光强与上述摆动的摆动角的关系如图 0-11 中的曲线所示。曲线上 A 点是光线恰好垂直标准具反射面入射时的摆动角。因此,只要测定此摆动角即可确定来袭激光束的方向。由曲线中 A, B 两点的摆动角之差的大小可推算出激光波长。

对于非相干的背景光,通过阶梯型标准具后落到相应的探测器上,通过相减处理即可消除背景光的影响,因此大大降低了系统的虚警率。

该装置可测定来袭激光的方向与波长,但由于它必须通过摆动扫描才能确定激光束的参数,所以难以截获单次激光短脉冲。

② 迈克尔逊相干识别型激光告警器

迈克尔逊相干识别型激光告警器的工作原理如图 0-12 所示。



(a)图为原理图,(b)图为探测到的干涉图形
图 0-12 迈克尔逊相干识别型激光告警器

由干涉图的中心处坐标可计算出激光的方向,由干涉环的间隔可得出光波波长。

(3) 散射探测型

散射探测型激光告警器无需直接截获光束,只需接收到激光被大气散射的部分散射光,即可判定周围有无激光束照射,其组成原理如图 0-13 所示。

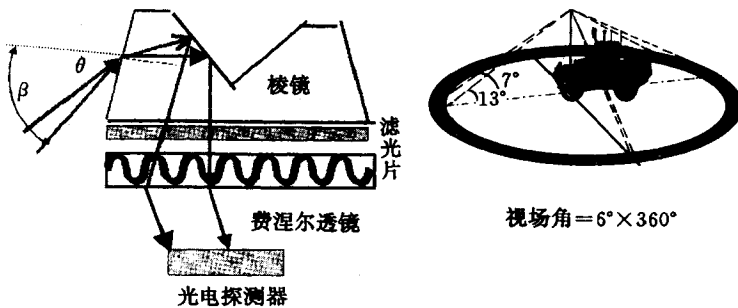


图 0-13 散射探测型激光告警器的组成原理(右图)及使用情况(左图)

0.2.4 其他光电侦察设备

1. 激光雷达

激光雷达是用激光对目标进行探测、定位和观察的设备。它是激光技术与雷达技术相结合的产物,所能完成的功能有:发现目标,测定目标的距离、方位、仰角和速度,识别目标的形状和性质等。

激光雷达由光学天线(发射光学系统、光学扫描系统和接收光学系统)、激光发射机、激光接收机、随动系统、显示贮存和输出设备等组成。激光雷达向目标所在空域发射激光进行搜索,一旦截获目标即转入跟踪状态,并照住目标。接收机接收目标的激光回波,进行光电变换和信息处理,得到所测目标的各种参数。表 0-1 为五种激光告警器的比较。

表 0-1 五种激光警戒接收机的比较

类型	光谱识别		相干识别		散射类型
	非成像型	成像型	法布里-珀罗型	迈克尔逊相干型	
优点	简单; 视场大; 灵敏度高; 成本低;	视场大,可凝视 监视; 虚警率低; 角分辨率较高;	使用单管探测器; 虚警率低; 角分辨率高; 能测激光波长;	虚警率较低; 无需机械扫描; 能截获单次激光短脉冲; 角分辨率高; 能测激光波长;	无需直接拦截激光束; 使用单元探测器; 可凝视监视;
缺点	角分辨率低; 不能测激光波长; 虚警率高;	不能测激光波长; 成本高; 要用窄带滤光片;	需机械扫描; 不能截获单次激光短脉冲; 视场较小;	视场较小; 成本较高;	要用窄带滤光片; 不能分辨方向;

激光雷达的测量精度高、分辨率高、抗干扰能力强,并可探测

超低空入侵目标,但由于激光波束窄,搜索截获目标困难,而且受气候影响大。

2. 红外成像仪

热成像仪是通过接收目标的红外辐射所形成的图像转换成人眼睛可见图像的装置。由于图像是靠目标与背景之间红外辐射的差别形成的,所以称为热图像。

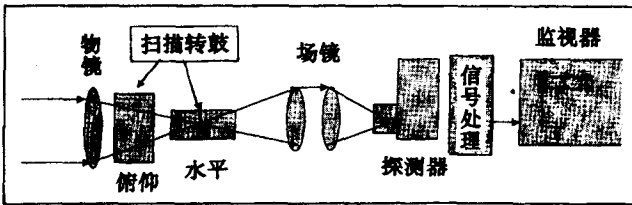


图 0-14 热成像仪的组成图

其组成如图 0-14 所示。物镜系统把目标的红外辐射收集起来,当扫描转鼓在俯仰和水平两方向扫描时,探测器就逐点接受目标的红外辐射并转换成电信号,经处理后在同步扫描的显示器上显示出目标的热图像。它的特点是全被动式工作,不易被发现和干扰;可 24 小时全天候工作;有较强的透过雾、霾、雨、雪的能力;能探测出隐蔽的热目标和它遗留下来的热痕迹。所以热成像系统在预警、侦察、观瞄、导航、制导等方面得到了广泛的应用。

0.3 光电干扰与光电摧毁

0.3.1 光电干扰

光电干扰是指有效地运用光波波谱破坏与削弱敌方光电武器与装备所采取的一切措施。

光电干扰是光电对抗的主要内容之一,是一种攻击性手段。在以光电精确制导武器的大量使用为特点的高技术战场上,光电干扰的作用越发重要。

光电干扰的分类大体上如图 0-15 所示。下面介绍光电隐身、红外诱饵和光电干扰机。

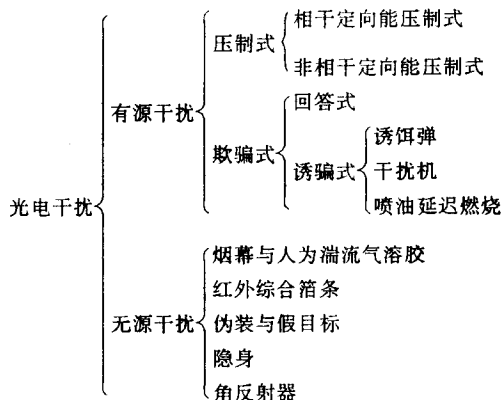


图 0-15 光电干扰的分类

1. 光电隐身

隐身技术又称低可探测技术,是通过降低目标的信号特征实现识别、跟踪和攻击的技术。下面介绍红外隐身技术和激光隐身技术。

(1) 红外隐身技术

红外隐身的主要对象是遭受红外制导武器攻击或易被红外侦察告警设备发现、识别的军事目标。而降低或改变目标的红外辐射特征,使得目标与背景的辐射反差尽可能小,是红外隐身的基本出发点。以喷气式飞机红外隐身为例。图 0-16 为喷气式飞机的主要红外辐射源。

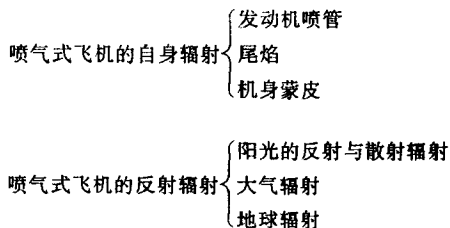


图 0-16

飞机被红外探测系统发现的距离 R 与飞机的红外辐射强度及大气的透过率两项的平方根成正比,而飞机的红外辐射强度在 $3\sim 5\mu\text{m}$ 波段,主要是飞机发动机喷管和尾焰所发射的辐射。被飞机反射和散射的太阳光在中、远红外波段的辐射强度已不大。值得注意的是,由于目前大部分用来攻击飞机的红外制导武器以飞机的尾焰作为跟踪点,所以飞机的红外隐身重点在其尾焰的隐身。

为了缩短被发现的距离,降低被探测到的概率,飞机红外隐身的基本方法有三种:

- 抑制红外辐射强度。由于飞机发动机喷管和尾焰的温度比环境温度高得多,它是“热”的红外辐射源,所以抑制其红外辐射强度是实现红外隐身的重要手段。
- 改变红外辐射的波段,使目标的红外辐射波段部分偏离红外探测器的响应波段,或者超出大气“窗口”。也可用改变红外辐射的传输途径的方法。
- 遮盖红外辐射源的辐射。

所以对喷气式飞机及其他航空器来说,实现红外隐身的主要手段有:

①采用尾焰温度较低的双涵道的涡轮风扇发动机。例如,“战斧”巡航导弹改用涡轮风扇发动机后,红外辐射强度下降了 91%。

②在发动机喷口处设置红外辐射挡板或巧妙设计飞机的布局,使一些部件(如尾翼)遮挡尾焰的红外辐射;把发动机的尾喷管