



## 红外线及军用夜视技术

徐润君 陈心中

(中国人民解放军汽车管理学院, 安徽省蚌埠市)

回顾近几年来发生的几场局部战争, 几乎都是在夜间开始的。尤为突出的是 1991 年的海湾战争, 1 月 17 日凌晨 2 点 40 分以美国为首的多国部队对伊拉克进行大规模空袭, 2 月 24 日凌晨 4 点多国部队乘夜色打响了大规模的地面战斗, 在 42 天的海湾战争中, 多国部队为了对伊拉克进行侦察、轰炸, 出动了近十万架次的飞机, 其中 70% 是在夜间进行的, 就连小规模的地面接触、兵力调动、物资运输, 也大多是在夜间进行的。夜视器材使多国部队能在夜间进行战场观察、武器瞄准、车辆驾驶等, 把漆黑的夜间变成“单向透明”的空间, 从而掌握夜间作战的主动权。

目前的夜视器材主要有前视红外装置, 红外探索跟踪系统、微光夜视设备、热成像系统等。这些夜视器材之所以能发挥其优良特性, 主要是利用了红外线的物理特性。

### 一、红外线的物理特性

物理学的研究表明, 红外线、可见光和无线电波一样, 本质上都属于电磁波(或称电磁辐射)的范畴, 它们之间的差别仅在于波长不同而已。

可见光的波长范围为  $0.38 \sim 0.75 \mu\text{m}$ , 而红外线的波长介于可见光与无线电波之间, 即从  $0.76 \mu\text{m}$  到  $1000 \mu\text{m}$  左右。通常把整个红外区划分为三个波段: 波长在  $0.76 \sim 1.5 \mu\text{m}$  之间为近红外线, 波长在  $1.5 \sim 15 \mu\text{m}$  之间为中红外线, 波长在  $15 \sim 1000 \mu\text{m}$  之间为远红外线。

正由于红外线占有特殊的波长和频率范围, 使其在发射机理、传播特性、接收方法以及物质的相互作用性质上有不同的表现, 而被军事界所利用。

物理学的理论研究表明, 自然界中任何物体的温度总高于绝对零度( $-273^\circ\text{C}$ ), 其内的分子、原子永不停息地作不规则的热运动, 带电粒子不停地发生能级跃迁, 所以任何物体都在不停地以电磁波的形式向外释放热辐射能量。不同物体的发射率不同; 同一物体处于不同温度时, 其热辐射能量按波长的分布情况也不同。这种红外线发射的广泛性及其温差的区别性, 成了探测与识别军事目标的重要依据。

物理学的研究还发现, 不同物质的光谱反射能力与入射电磁波的波长有关。例如, 叶绿素(绿色植物)和涂有普通军绿色的坦克, 在可见光部分, 两者的反射率基本相同, 其反射率均接近 10.3%, 因此在绿色植物背景上, 坦克不易被可见光发现; 但对于近红外波段的人射光, 军绿色坦克的反射率是 20%, 而叶绿素的反射率却在 40% 以上, 因而在近红外黑白照片上, 由于绿色植物反射红外线的能力强, 所以显得明亮, 颜色发白, 而涂以普通军绿色油漆的坦克则显得灰暗。对于砍伐下来的树木杂草(因树木树叶中的叶绿素成分在离体后的 2~3 小时内就被破坏掉), 其反射红外辐射的本领大大降低, 在照片上呈现浅蓝色或灰蓝色, 明显的对比, 使目标容易暴露出来。

大气中的水汽、二氧化碳、臭氧等气体分子对不同波段的电磁波有不同的吸收作用, 有的吸收能力较强, 有的甚至会使电磁波几乎无法通过大气层。因此, 只有“大气窗口”(大气吸收率较小的波段)内的电磁波才容易在大气中传输。实际上, 即使处于“大气窗口”中的电磁波在传播过程中还要不同程度地受大气分子的散射。当散射粒子的尺度远比辐射波长小时, 根据瑞利散射规则可知, 散射程度与波长的四次方成反比, 红外线波长较可见光长, 故散射损耗较

小。从光谱的可见光区到波长为  $15\mu\text{m}$  的红外区一共有八个透明窗口,其中  $1\sim 2.5\mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\mu\text{m}$ 、 $8\sim 14\mu\text{m}$  三个波段成了红外技术中主要应用的窗口。

红外线和可见光具有许多共同的物理特性。例如,当它们传播到两种不同媒质的界面处时,会发生反射、折射现象;两束满足相干条件的可见光或红外线在空间交迭时,均会出现干涉现象;红外线与可见光一样,能发生热效应、光化学效应和光电效应等。各类红外探测器的制成及红外线的各种应用就是基于红外线的不同效应实现的。例如,准确测定物体发射的红外线强度,可间接地测定物体表面温度,这就是红外测温的原理。红外测温有别于其他测温方法的最大特点就是不必直接接触被测物体,因而在温度遥测及运动物体测温方面显示出巨大优越性。在设计新型枪炮时,很希望了解实弹射击过程中枪(炮)膛和枪(炮)口的准确温度,以便合理选择材料、改进结构,利用红外测温仪器就较为理想。而红外线又以不能引起人眼的视觉、比可见光具有更强的热效应等物理特性,使其更受军事界的青睐。

## 二、红外线的特性在军用红外技术中的应用

红外线被广泛应用于军用夜视设备中。

按其光源分,军用夜视设备可分为主动式和被动式两类。主动式夜视设备是由红外探照灯发出红外光束照射目标,再感受由目标反射回来的红外线,并形成目标图象;被动式夜视设备是直接探测目标的红外辐射,并形成目标图象。

按其成象原理,军用夜视设备又可分为红外夜视仪、微光夜视仪、红外热象仪三大类:

### (一) 主动红外夜视仪

主动红外夜视仪通常由红外探照灯、物镜、变象管、目镜、电源设备等组成。

红外变象管是主动红外夜视仪的核心部件,它是高度真空的电子器件,由光电阴极、电子透镜和荧光屏组成。

军用主动红外夜视仪的工作原理主要是利用红外线对人眼不引起视觉的物理特性,让其

在敌我空间进行传播,以传递信息。即先由红外探照灯发出红外光束照射目标,由目标反射回来的红外线经过透镜,在变象管的半透明光电阴极上形成红外线图象。

变象管中的光电阴极是把银氧铯蒸镀在变象管输入窗口内表面上形成的一层金属薄膜,它负责进行光电转换。根据红外线的光电效应,银氧铯材料在受到波长为  $1.2\mu\text{m}$  以下的近红外线照射时,能发射电子。红外线照射越强的部位发射的电子越多。

变象管中的电子透镜由圆筒形金属电极构成,工作时加以较高的正电压。电子透镜有两个作用:一是使光电阴极各点发射出来的电子分别聚集在荧光屏的对应点上,再次形成电子图象,这与光学透镜成象的原理类似;二是使光电阴极发射出来的电子加速向荧光屏运动,以提高这些电子轰击荧光屏的能量,从而使荧光屏发出较强的可见光。

荧光屏是在变象管输出窗口的内侧涂敷发光粉后再镀一层金属膜构成的,金属膜可以保护发光粉。发光粉的材料多为硫化锌或硫化银。它们在受到高速运动的电子轰击时,能将电子的动能转变为光能,发出可见光。

由变象管转换成的可见图象,通过目镜放大被人眼所观察到。

早在第二次世界大战期间,主动红外夜视仪就已开始使用。德军在东部战线首次将红外驾驶仪和红外瞄准仪使用在豹式坦克和反坦克火炮上,以后又用红外望远镜侦察英、法军舰在英吉利海峡的夜间活动情况。在冲绳岛战役中,美军使用的主动红外夜视仪在夜战中大显身手,据估计,日军死于美军装有红外瞄准具的卡宾枪的人员占伤亡总数的 30%。

主动红外夜视仪造价低廉、观察效果好,现已广泛在陆、海、空三军普遍使用。例如,在港口用作监视船舶的夜视仪可以探测到  $1600\sim 13000\text{m}$  的目标;作机场信标探测用的红外夜视仪探测距离可以远达  $16000\text{m}$ ;用于步枪、机枪、火炮的红外瞄准装置,其作用距离一般是  $300\sim 500\text{m}$ ;主要用于坦克、汽车驾驶员夜间行

车的红外驾驶仪,其作用距离是 50~200m。

但是,主动红外夜视仪也有不足之处。主动红外夜视仪所用的红外探照灯通常是由普通光源发光,再用滤光片将可见光滤去后才对外辐射红外线,因此光源的转换效率低,而且容易在战场上暴露自己。试验表明,如果红外探照灯一次照射时间超过 8 秒钟,就有可能被对方发现、遭受攻击。例如,1973 年中东战争中,埃及双方的坦克都配有主动红外夜视仪,其中许多坦克就是因为使用了红外探照灯而被对方击毁的。海湾战争中,多国部队没有使用这种主动红外夜视仪,但伊拉克仍在用主动红外夜视仪。

## (二) 微光夜视仪

为了避免暴露目标、让夜视仪不主动发射红外线,人们设法把月光、星光和大气辉光等微弱的光增强到人眼可见的光线,研制出了微光夜视仪。这是 60 年代以后迅速发展起来的一种新型实用夜视技术。

微光夜视仪的原理是:先把来自目标的微弱光线转换成电信号,然后把电信号放大,最后再将电信号转换成人眼看得见的光信号。这种光→电→光的两次转换,是微光夜视仪(实际上包括一切夜视仪)进行夜间观察的基本物理原理。

信号放大系统是微光夜视仪的核心部分,因为要想在黑夜之中看清周围的物体,一般需要将微光增强 5 万倍以上。一个微光管的放大倍数往往是不能满足需要的。初始阶段,人们根据电子在电场中加速的原理,将由光信号转换成的电信号经过三级放大而制成象增强器,但其设备笨重,而且会使照明弹和发射炮弹时的明亮火光等也同时放大,导致荧光屏图象不清,不适应战场需要。为此,人们改用半导体材料制成的微通道管来抑制强光的干扰。但配有微通道板的微光夜视仪只对波长短于  $0.9\mu\text{m}$  的微光有作用,而夜间微光中能量最强的却是  $1.8\mu\text{m}$  波长的光。为了充分利用夜间微光的能量,人们又制成了一种以半导体材料砷化镓作光电阴极的微光夜视仪。砷化镓光电阴极对可

见光和红外光线都很敏感,用它代替红外夜视仪中的银氧铯光电阴极与微光夜视仪中的铯钾铯光电阴极,就可以把红外夜视仪与微光夜视仪统一起来。它既能接收夜间物体反射的微弱可见光,又能接收来自被测目标的红外线。

微光夜视仪直接依靠夜间天光成象,无需主动光源,克服了主动红外夜视仪的缺点,而具有工作隐蔽、构造简单、体积小、重量轻、使用安全可靠等优点。

微光夜视仪可供部队在夜间到前沿阵地侦察对方的地形、火力配备,监视对方的行动;可制成头盔式侦察仪,也可安装在单兵武器、轻武器及火炮上进行夜间瞄准射击,或供驾驶员夜间操纵车辆等。美军装甲车辆用的 AN/VV52 型微光驾驶仪就是具有微通道板的微光夜视仪,夜间可观察到 200m 处的人、470m 远处的坦克,它还具有防强光的能力,即使有探照灯或开大灯的车辆迎面驶来,也不影响正常观察。

海湾战争中,以美国为首的多国部队空军飞行员大都佩戴有微光夜视眼镜。例如美军飞行员戴的一种价值 70 万美元的“瞄眼”夜视眼镜,安装在飞行员面罩上,来自外界的物光通过一对象增强器,将增强后的图象投影在飞行员眼前的塑料组合器上产生一个与外界场景相吻的清晰图象。飞行员可以双目观察,必要时还可显示字符。

若将微光夜视仪同激光测距仪、照相机及电视摄像仪配合使用,可以满足多用途要求。

但是,微光夜视仪制造工艺复杂、价格昂贵,其作用距离和观察效果受天气影响很大,雨雾天不能正常工作,这些都有待于进一步改进。

## (三) 热象仪

热象仪是一种依靠接收目标红外线成象的侦察仪器,是目前技术最先进的夜视器材。热象仪的温差灵敏度一般是  $0.2^{\circ}\text{C}$ ,有的可达  $0.05^{\circ}\text{C}$ ,因而不仅能测知物体表面的温度,而且能显示物体温度的分布情况,形成“热象图”,为人们提供信息。

目前,热象仪的显示方式大致有三种:一是利用对红外线敏感的胶片对景物直接照相,显示其温度分布情况,其过程与普通照相类似;二是用电视的形式实时地将景物显示出来;三是对大面积(大视场)景物用磁带或胶卷方式连续记录下来。前视红外装置就是一种电视型的热象仪。

红外线热象仪的工作原理是利用红外线探测器,将进入物镜的目标自身辐射的中红外线(3~5 $\mu\text{m}$ 波段)和中远红外线(8~14 $\mu\text{m}$ 波段)辐射图象转换成电子图象,并经信息处理放大,由相应的显示器(如发光二极管)还原成可见光图象,然后通过目镜或电视屏幕观察。

70年代以来,由于电荷耦合器件的问世,人们采用固态探测元件制成探测器,以固态发光器件制成显示器,用大规模集成电路全固化器件进行图象转换处理,使固态成象技术得以迅速发展,相应的夜视器材在超小型、低功耗、低成本、可靠性好、灵敏度高、用途广泛等方面显示了很大的优越性。

热象仪中的红外探测器负责进行光电转换,相当于变象管中的光电阴极,它是用半导体材料制成的光敏元件。某些半导体材料在受到中、远红外线的照射时,电阻值会发生变化,因而可将光信号转换成电信号。热象仪中的红外探测器所用的半导体光敏元件有碲镉汞、碲锡铅、硒化铅等。碲镉汞是一种由碲化镉和碲化汞组成的合金半导体材料,调节它们之间的配比,可以使这种材料适应于不同波长的热辐射。

由于任何物体都可以视为热源,而且热象仪的工作完全是被动的,不易被对方发现和干扰,所以热象仪的应用范围很广。目前,热象仪在航天侦察、边防线上的夜视警戒、军舰和坦克的夜间探测、导弹寻的及遥控遥测等方面都得到了应用。

利用热象仪还可以在在一定程度上识别伪装。美国曾根据卫星的空中侦察资料发现前苏联西伯利亚地区出现了一些原来地图上没有的城市,为了查明这些城市的来历,又用热象仪进行了红外侦察,发现这些城市的热辐射远比一

般城市弱,从而判定出这是苏联在西伯利亚地区设置的假城市。在海湾战争中,由于伊拉克对军事目标进行了伪装,所以多国部队飞机在白天利用可见光器材发现和摧毁伊军地面装甲部队的目标较为困难,但在夜晚,由于隐蔽的坦克和装甲车辆比周围的沙子散热慢,红外辐射相对较强,多国部队的飞机利用热成象技术较易发现目标并予以摧毁,每晚摧毁伊军坦克可达100~200辆,平均摧毁率比白天提高4倍。

通常的空中照相只能显示出目标的外表形状、大小和一般运动状态的差别,而利用热象仪则可以发现目标内部的某些过程和状态。例如,坦克、汽车从停放处开走后,它原来停留的地方与周围环境的温度差发生变化,比较热象图即可判明它们已离开原地;在以后的行驶过程中,由于发动机、喷气管的温度与环境温度不同,热象图又可显示它们的行径。再如,从摄取的机场热象图可以判断飞机的状态,若飞机的色调是黑色的,则说明飞机处于静止状态;若有灰色的虚影,则说明飞机刚飞离机场不久;若机身上呈现两条白色影象,则说明飞机即将起飞或刚刚降落。

一般空中照相难以发现水下目标,然而由于水下潜艇的温度与其周围的水温不同,因而仍能被热成象侦察系统所探知。一般来讲,在水下40—60m处的目标,只要比周围水温高出0.2—0.5 $^{\circ}\text{C}$ ,其温度的差异就能在热象仪中显示出来。例如,有人利用热成象照片对某群岛进行研究,在热成象照片上发现了一条不同于海水的色调,从而判明海岛上有地下水存在,满足了海岛驻军对淡水的需要。同样道理,利用热象仪可以发现导弹的地下发射井。

大气中的雾、霾、雨、雪、水汽、尘埃粒子等对可见光和近红外辐射产生的吸收、散射及反射作用相当严重,而中红外和远红外辐射受这些粒子的影响就相对小一些。热象仪就是利用中红外和远红外部分的辐射,因此作用距离比较远。热象仪既克服了主动红外夜视仪易自我暴露的缺点,又克服了微光夜视仪完全依赖天光的缺点,而且不会由于战场上出现的强光而

致盲。所以，热象仪被认为是一种最理想的夜视器材。近一、二十年来，美、前苏联、法、德、日本等国已研制装备的热象仪图象质量可达到普通电视标准，分辨率达到 0.1 毫弧度，作用距离可达几公里乃至几十公里。

目前，许多现代化作战飞机、装甲战车都装备了热象仪。在海湾战争中，热象仪是多国部队取得对敌夜战优势的主要装备。

装有红外遥感仪的人造卫星可以对洲际导弹实现早期报警，在导弹发射和助推阶段排出的尾焰热气体里含有大量的水和二氧化碳，它们辐射的大多是波长为  $2.7\mu\text{m}$  的红外线。如果预警卫星上装有硫化铅阵列遥感仪，并在入射光路里加入一个中心波长在  $2.7\mu\text{m}$  的窄带滤光片，这样，洲际导弹在开始点火的一瞬间就能被红外遥感仪发现，随之摄像装置把信号传送到地面，地面观察人员可以在显示屏幕上看到导弹的尾焰。

许多军事目标(如飞机、坦克、军舰等)都装有大功率发动机，其动力部分是强大的辐射源，喷气式飞机喷出的废气温度也很高，这些都可形成红外制导导弹的目标控制信号。目标信号被导弹红外导引头的光学系统聚焦到调制盘上，调制盘将之调制成不同的红外信号，由探测器转换成电信号，经电子放大系统放大处理，与装置中原有的基准信号比较，得出误差电信号，驱使操纵系统不断校正导弹的飞行误差，使导弹逐步逼近目标，直至摧毁之。

红外自动导引系统可以实现“发射后不用管”，而且导弹越接近目标，来自目标的红外辐射越强，其导引头的制导精度越高。红外制导和同类型的雷达制导相比较，结构简单、成本低、全被动式、不易受太阳和大气条件的干扰。例如美国的“幼畜”空地导弹，D、F 型为红外线热成像导引头(A、B 型为电视制导导引头，C、E 型为激光制导导引头)，即利用红外线的能量谱，扩大可视范围，能在昼夜、有雾和战场烟尘及有限的恶劣气象条件下使用，飞行员将瞄准器转向要攻击的目标，并发射导弹，然后导引头将导向瞄准器所指示的目标。F 型在 D 型的基

础上对跟踪器作了优化处理，可以选择最优的引爆时间。

随着现代科学技术的发展，热成像技术将不断改进，日趋成熟。目前，对热象仪的性能起关键作用的量子探测元件，已由单元发展成多元，由线阵发展到镶嵌面阵，近期可望达到  $1024 \times 1024$  元面阵的水平。通用型热成像组件可实现通用、互换，用少量的基本器件便可组装出多种多样的热象仪。

### 三、红外线的特性在反红外技术中的应用

矛与盾是在斗争中同时发展与完善起来的。先进的红外技术使作战的一方掌握战争的主动性，作战的另一方则必然要采取反抗的措施。因此，人们又充分利用红外线的物理特性相应产生和发展了反红外技术。目前常用的反红外技术主要有：

#### 1. 降低己方武器装备的红外辐射。

从第二次世界大战到海湾战争的实践表明，对己方有红外辐射的战斗武器和设施加装伪装网、隔热层，利用特制的泡沫塑料作外套吸收武器装备自身发出的红外辐射，研制更合理的隔热层结构和制造工艺，发展单兵热红外伪装网和单兵热伪装器材等措施，都能有效地降低己方目标被对方红外探测系统发现的概率。例如，AH-64 直升机的发动机排气口安装了一种“黑孔”红外抑制器，用弯曲的混合管遮挡发动机热部件的红外辐射，同时又吸进大量冷空气，使其与热空气混合，从而降低排气温度， $590^{\circ}\text{C}$  的热气通过红外抑制器排出时的温度可降至  $15^{\circ}\text{C}$ ，使对方的红外寻的导弹难以跟踪。

#### 2. 设置假目标。

例如，海湾战争中伊拉克曾从意大利某公司购进一批充气假坦克、充气假飞机、假导弹发射架等，这种假武器一般用硬纸板或塑料制成，并用金属丝加固，足以使对方雷达屏幕上形成十分逼真的电波影像；伊军还在一些假目标下放置热源，以吸引多国部队的热寻的制导炸弹。战争的实践证明，伪装对增强伊军的生存力起着举足轻重的作用。多国部队所轰炸的目标 80% 是假目标。这种红外伪装方法不仅使伊拉

克的大部分飞机保存了下来,机场还能使用,而且以廉价的假目标导致多国部队花费了大量价格昂贵的真导弹,起到了削弱对方力量的作用。

### 3. 施放红外诱饵。

在战场上模拟真实目标仿制红外热源(如发射曳光弹等高温物体),迷惑对方,对对方的红外侦察系统实施干扰,以降低对方红外探测系统的分辨效果;或吸引对方导弹的红外被动导引头偏离航向,以保护己方的载机和舰船。在1973年的中东战争中,阿拉伯方面使用的是苏制萨姆-7热寻的导弹,以色列军队为了对付这种导弹,从自身的战斗机尾部发射高热照明弹和高温气球,或者飞行员放出飞机的燃油并用加力燃烧室将其点燃,这样产生的热效应与飞机发动机散热产生的热效应极为相似,起到了假目标的效果,引爆了大量的萨姆-7导弹,使战场的空中态势迅速得到扭转。又例如美国研制装备的假“陶”式反坦克导弹系统能模拟导弹发射时的烟尘、气浪等,是很好的红外诱饵。

4. 充分利用地形、天候等因素降低对方夜视器材的观察效能。

红外探测技术也受到天气、环境的限制,如

遇到大的云层或下雨时,目标与背景的温差减小,就难以成象。就是在一般情况下使用的准确率也并非尽如人意。因而可以根据红外线的传播特性,充分利用自然条件,限制对方红外探测器材的效能。例如,利用不良天候作战缩短被对方发现的距离等,或者改变战术方法以减小战损率。

高技术武器装备使多国部队在海湾战争中赢得了战争的主动权,但也暴露了一些问题。据统计,海湾战争中美军共发生28次因夜视器材而引起的误伤事件。而且,热象仪造价昂贵,用于步枪瞄准的热象仪竟贵达4500—6000美元,将它安装在价值300美元的步枪上是用户难以接受的。

从目前的研究情况来看,夜视器材正朝着常温组件、小型化、观瞄射组合一体和多功能化、昼夜两用和通用型方向发展。

可以相信,夜视技术的不断发展将对未来作战的样式和方法起着日益显著的作用。

由上可见,现代军用红外技术是以红外线的物理特性为基础、以复合技术为核心,综合多学科而发展起来的现代军事技术之一。

## 科苑快讯

### 波音公司将研制 600 座客机

据《中国科学报》报道,美国波音公司(本期封面照片是位于西雅图的总装配车间,摄于1988年7月1日),正在对多种不同机型设计方案进行考虑,以便今后推出能承载大约600名乘客的新型民用客机。

据波音公司工程设计部高级经理弗雷德里克·戈吉斯介绍,目前仍处于探讨阶段的三种设计方案,分别涉及波音747-400客机的加长、重新研制的全新大型机种以及高速民用运输机。

波音747-400型客机是现有载客量最大的机型,其加长型的总长度可达到77.7米,上层客舱或许也需要延伸,但整机结构不会作大的

改动,因而依然适合于同样的机场条件。

与此相比,全新机种的长度虽然相同,但最大起飞重量却能达到848吨,主起落架两个轮子之间以及与机头之间的距离将分别为15.5米和34.7米,需使用专为重型飞机准备的跑道。

此外,高速民用运输机的总长度最大可达87.8米,最大起飞重量将为363吨。

尽管还没有做出最后选择,但鉴于全球主要机场条件的限制,波音公司倾向于采用加长设计,打算今年5月推出加长型波音747-400客机。

(卞吉 编)