

红外夜视技术及其军事应用

白宏刚

一、红外线和红外夜视

红外线是人眼看不见的一种光波，它是由物质内部的分子、原子的运动所产生的电磁辐射，是一种电磁波，波长比红光更长，其突出的特点是热作用。“红外线”也称“红外辐射”，波长在 $0.75\sim 1000\mu\text{m}$ ，是个相当宽的区域，且这种辐射都载有物体的特征信息，这就为探测和识别各种目标提供了客观基础。红外线具有与可见光类似的特性，如反射、折射、干涉、衍射和偏振，同时，又具有粒子性，即它可以以光量子的形式发射和吸收，这已在康普顿散射、光电效应等实验中得到了充分的证明。不同波长的红外线在传输过程中能量衰减程度有很大的差别，能透过大气的红外线主要有 3 个波段，即 $1\sim 2.5\mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\mu\text{m}$ ，这 3 个波段称为“大气窗口”，所有红外仪器都工作在这 3 个波段内。

20 世纪 80 年代以来的几场局部战争，大多数是利用夜“幕”发起的，人们十分重视利用夜幕掩护，夺取白天难以取得的战果。这难道是偶然的巧合吗？不！这里面渗透着高科技的发展。夜幕降临，夜暗环境中存在着少量的自然光，如月光、星光、大气辉光等，统称为夜天光。在这些微光条件下，人眼视网膜不能充分的“曝光”，造成了人眼不能在夜暗条件下正常的工作。除了夜天光，在夜暗环境下还存在着大量的人眼看不到的红外线，自然界中一切温度高于绝对零度的物体（物质）每时每刻都会产生红外线，所以无论白天还是黑夜，空间都充满了红外线。红外夜视器材正是利用红外线使人眼能在夜暗环境中观察景物的。设法将景物的不可见红外图像转换为能引起视觉的可见图像，这就产生了红外夜视技术。

二、红外夜视技术及其军事应用

红外夜视根据系统本身是否带有红外辐射源分为主动式和被动式，带有红外辐射源的称为主动式红外夜视技术，无红外辐射源的称为被动式热成像技术。

1. 主动式红外夜视技术

主动式红外夜视系统结构上由红外探照灯、光

学系统(物镜组、目镜及眼睛)、红外变像管和高压电源构成，其工作原理如图 1 所示。

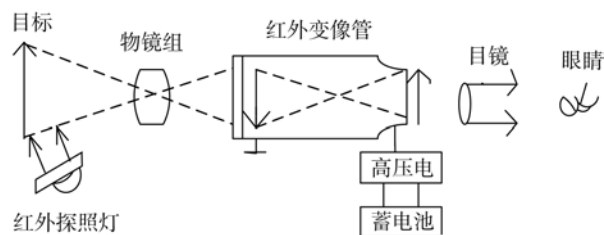


图 1 主动式红外夜视仪工作原理图

从图 1 中可看出，其工作过程是：红外探照灯通常用的是氙灯，氙灯发出的红外线照射物体，物体反射的红外线通过物镜照射到变像管的光电阴极上，红外变像管的光阴极是对近红外敏感的银氧铯光敏层，光电阴极各部分发射出光电子，在变像管内加速运动的同时聚焦，变像管再对红外图像进行光谱转换、电子成像和亮度增强，最终射击到变像管的荧光屏上，荧光屏在高速电子轰击下，发射出正比于电子密度与动能的可见光图像，从而完成了从近红外辐射到可见光辐射的图像转换过程。此时通过目镜，眼睛即可看到放大的目标的可见光图像。主动式红外系统的工作波段在 $0.76\sim 1.2\mu\text{m}$ 的近红外区域，其核心部件为红外变像管，它起着光电图像转换及增强作用。红外变像管由三部分组成，包括银氧铯光阴极、电子光学系统及荧光屏。

主动式红外夜视仪的最大优点在于：能充分利用红外光源发出的狭窄光束照明目标，目标与背景反差大，可在全“黑”条件下工作。缘于这一优点，主动式夜视技术在二次大战后期至中东战争期间被普遍采用，用作装备步枪、机枪、火炮、车辆等军事设备，作短距离侦查、瞄准和搜索使用。图 2 为主动式红外夜视仪在战士头盔中的应用。主动红外夜视仪有 80 多个品种用于装备部队，如红外瞄准镜、红外观察仪、红外驾驶仪等。红外驾驶仪用 10 瓦氙灯作探照，作用距离为 $50\sim 200$ 米，装有这种夜视仪的坦克和反坦克火炮可在黑夜高速行驶；红外瞄准镜使用 30 瓦强氙灯，作用距离为 $100\sim 300$ 米，装有红外瞄准镜的步枪能在夜间瞄准而使敌方

处于被动挨打的局面；红外观察仪使用大于 200 瓦的红外光源，作用距离为 400~1200 米。



图 2 美军应用主动式红外夜视仪夜战塔利班图

然而，由于主动式系统需要配备红外光源，因而除显得笨重外，在敌方也有红外装置情况下就极易暴露自己。例如，在 1973 年的中东战争中，埃及和以色列双方的坦克都配备有主动红外夜视仪，其中许多坦克就是因为使用了红外探照灯而被对方发现和击毁的。由于这一致命弱点，20 世纪 70 年代后它已逐步由被动式系统所取代。

2. 被动式红外夜视技术——热成像系统原理

任何绝对零度以上的物体都具有热辐射本领，辐射体的温度不同，其辐射的能量及波长成分也不同。热成像系统的作用就是基于目标与背景的温度及辐射发射率的差异，利用辐射测温技术对目标逐点测定辐射强度，而形成可见的目标热图像。图 3 为光机扫描型热成像系统工作原理图。其工作过程是：光学系统先将目标的红外辐射汇集起来，经过光谱滤波和光学扫描聚集到探测器列阵上；探测器接收到了这些红外辐射能，利用探测器的响应率将红外光信号转换成相应的输出电压信号，红外辐射能量的强弱决定了电压信号的强弱；然后电压信号再经过放大器放大，交流/直流转换进行灰度量化处理形成视频信号，在显示器上得到可见的目标热图像，系统中核心部件为红外探测器。

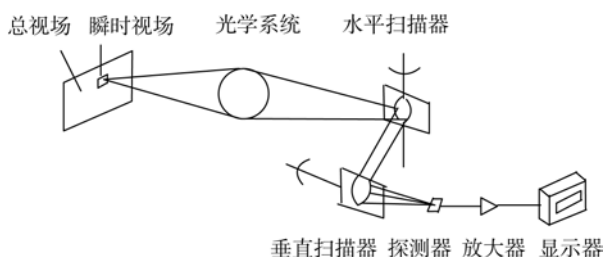


图 3 光机扫描型热成像系统工作原理图

红外热成像实质上是一种波长转换技术，即把红外辐射能转换成可见光技术，利用景物自身各部

分辐射的差异以获得目标图像，通常工作在 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\mu\text{m}$ 两个波段。这种热成像技术既克服了主动红外夜视容易自我暴露的缺点，又弥补了被动微光夜视完全依赖于环境自然光和无光不能成像的不足。红外夜视成像系统早期为主动红外夜视成像，现在的红外热像仪代表着夜视器材的发展方向。红外热像仪可装备飞机、舰艇和车辆等平台，用于探测热源目标，其突出的优点是以被动方式工作，有利于抗干扰和隐蔽。航空应用：美国战术空中侦察吊舱系统在北约“盟军”行动中装备于“罗斯福”号航母上的 F-14 战斗机，它包括 24 台数字式照相机，参与攻击、侦察和战损评估。第三代前视红外相机样机在美、以空军的 F-16 战斗机上已安装，它具备三视场瞄准导航能力，装有低空导航平视显示器，目标截获距离达 60km，识别距离 30km。

红外热成像技术由于靠目标和背景的辐射对比度产生目标图像，因而能透过伪装探测到隐蔽的军事设施，具有真正的“夜视”本领；红外热成像系统具有“全被动”、“全天候”的优点，能揭露伪装，不受战场上强光、眩光干扰而致盲，能给出目标的状态信息；此外自身隐蔽性好，作用距离远。图 4 为同一场景可见光图像与红外热图像的比较，图 5 为利用热成像系统观察丛林中人员的伪装，比较大图可以看到掩蔽在树丛中的人员，热成像仪使依



图 4 同一场景可见光图像与红外热图像比较



图 5 上小图为自然光下观察到的情况，大图为热成像观察到的图像

大学物理课堂例题真实化举析

胡海云 刘兆龙 冯艳全

物理学一词来源于希腊文 physics, 意即“自然”。物理学是一门历史悠久的自然学科, 不仅对物质文明的进步和人类对自然界认识的深化起了重要的推动作用, 而且对人类的思维发展也产生了不可或缺的影响。随着科技的发展, 社会的进步, 物理已渗入到人类生活的各个领域。在大学物理课堂教学中, 从实际背景出发, 联系



生活讲物理, 把实际问题物理化, 物理问题综合化、生活化, 适当创设一些小而具体、新而有趣的真实化的例题, 是我们近几年在大学物理教学改革中的一种尝试, 目的是让学生体会物理学在生活实际及科学技术中的应用价值, 激发学生的学习兴趣, 培养思考问题、解决问题的能力, 从而提高学生的综合素质。下面着重给出几个涉及生物体的教学实例。

实例一、水母喷水推进模式

水母是生活在大海中的一种低等生物, 它们的身体多半透明, 身体外形呈圆伞状或钟状(图1), 其直径有大有小。伞内有发达的肌纤维, 肌纤维收缩时, 伞内的胃腔就会随之收缩, 使身体内的水从腔口挤出, 形成喷射水流而推动水母前进, 然后利用收缩过程中储存在外伞肌肉中的弹性应变能, 使外伞反复恢复到放松的状态, 并使水回流至外伞内

部, 为下一次的喷水做准备。若近似把完全张开时的水母看成是一个充满水(密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) 的半径为 $r_0 = 0.1 \text{ m}$ 的气球, 其中的水(质量 $m = 4/3\pi r^3 \rho = 4.2 \text{ kg}$) 在 1s 内由内截面半径为 1cm 的柱状管口完全喷出, 可算得其平均速度约为

$$v = \frac{m}{\pi \times 0.01^2 t} = 13 \text{ m/s},$$

则由牛顿第二定律可知平均推进力为

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} v = 55 \text{ N}.$$

此值大于水母的重力, 从而水母便能向相反的方向浮起, 可使其快速游动。这种喷水推进与火箭喷射原理相似, 都是将自身的物质向后方喷出而获得推力, 可以利用动量守恒原理进行解释。需要进一步指出的是, 虽然喷水推进其中涉及的流体问题不像看上去那样简单, 但生物喷水推进的特点使其在仿生水下机器人的研究中有着很好的应用前景。一方面, 喷水动作由改变腔体的体积完成, 可以灵活地应用多种驱动技术来实现; 另一方面, 通过改变喷水的参数, 很容易实现高速巡航和低速精确定位之间的切换。

靠自然伪装的保护完全失效。正是由于这些突出优点, 红外热成像技术目前已成为夜视技术中最热门、应用最广的技术, 用在导弹、机枪、火炮、飞机等军事设备上, 可以完成目标捕获、射击控制、监视及空中侦察任务。因此, 世界上许多国家竞相研制与开发红外热成像技术, 发展十分迅速。在过去 30 年中, 已成功开发应用了两代红外热成像系统, 美国 ANS/PAS-13 型“热力武器瞄准器”是目前最先进的被动红外夜视装备, 使用了第二代前视红外技术; 轻质、高传输率二元光学部件; 小体积、低功耗

的超大规模集成电路部件; 低功耗、高亮度发光二极管显示器等。对人员的探测距离超过 1100 m, 对车辆为 2200 m, 已被美陆军“陆战勇士”计划所选用。

(陕西西安武警工程大学物理教研室 710086)

基金项目: 武警工程大学基础研究基金资助课题 (No. WJY201105)