

21 世纪的“冷”兵器

赵小青

(北京市北方工业大学理学院 100144)

“刀、枪、剑、戟、矛、戈、弓、弩”这是冷兵器这个词带给人们的联想，难道 21 世纪的战场又要再现身披铠甲的士兵对阵厮杀吗？文明不可逆，这当然是不可能发生的事情。那么 21 世纪的“冷”兵器意味着什么呢？

海湾战争打响后的第三周，即 1991 年 2 月一天的夜晚，美军 F-117 战斗轰炸机完成任务返航飞临沙漠上空时，飞行员座舱显示器上出现了一些奇怪的图像，训练有素的飞行员立刻意识到这是伊拉克军队隐藏在沙漠中的坦克。两伊战争中，伊拉克人曾用此招欺骗过伊朗人。但是，此对手非彼对手，拥有先进侦察装备的美军没有中招。美军立即实施了沙漠“敲鼠”行动，隐藏在沙漠中的伊军坦克被制导炸弹埋葬在了沙漠中。美军为何能发现隐藏在沙漠中的“鼠”？关键的原因就在于这只“鼠”是只“热鼠”，坦克金属表面的高温葬送了自己。

众所周知，在电磁波大家庭中，有一位叫做红外线的成员，它源于世间万物。根据辐射理论，自然的任何物体，只要它的温度高于绝对零度（即 $t = -273.15^{\circ}\text{C}$ ）就会时刻不停地辐射红外线，温度越高，辐射强度越强，所以也被称为热辐射。由于红外线的波长范围在可见光和无线电波之间，所以对人眼来说，红外线是看不见的。但是，20 世纪初爱因斯坦建立的光电效应理论将这种不可能变成了可能。1930 年红外光电阴极的研制成功，使红外光转变成可见光成为现实，这标志着红外探测技术的诞生。当今的红外探测器以现代红外技术为基础，通过接收目标和所处背景的红外辐射，利用目标与背景之间的温度差，探测飞机、舰艇、坦克等军事目标。这些目标有一个共同的特征：热！高温物体形成的强红外辐射源，与较低温度的天空或海洋等背景形成强烈的反差，很容易成为红外探测器追踪的目标。海湾战争中，伊军埋藏在沙

漠中的坦克之所以遭到攻击，就是因为埋藏在沙子中的坦克在白天与沙子一样被太阳晒得热烘烘，两者温差很小。但到了夜晚，沙漠散热很快，温度迅速下降。而坦克的金属表面冷却速度很慢，于是坦克与周围的沙子形成了很大的温差，红外特征非常明显，所以被美军的机载红外探测器发现，全部沦为美军轰炸的活靶子。显然，红外探测技术在军事上的应用，极大地提高了飞机、坦克、战车的夜间作战能力和识别伪装目标的能力。因此，对于进攻方而言，军事目标的传统隐蔽方法——黑夜和伪装都不再是障碍。自 20 世纪 70 年代以来，在以美国为首发动的历次局部战争中，飞机轰炸主要都是在夜间进行的，战争中损失的各种作战飞机大约有 1600 架，其中 80% 都是被红外制导导弹击落的。可以说在当今，红外探测器已成为继雷达之后的最主要的探测系统，红外武器装备已经成为各军兵种必备的现代武器装备。

但是，“道高一尺，魔高一丈”，面对咄咄逼人的红外探测技术，科技之臂能够产生一叶障目的效应，这就是已经迅速发展起来的红外隐身技术。红外隐身主要是通过“淡”、“避”、“骗”等各种措施来降低军事目标的红外辐射强度或改变其红外辐射特征，使敌方的红外探测器“够不着”、“看不清”、“测不准”，从而削弱红外探测器的跟踪和识别目标的能力。

措施之一：淡。降低目标的温度，使军事装备成为“冷”兵器，从而降低目标的红外辐射强度，尤其是减小了目标和背景的温度差，使目标隐藏于背景之中，导致敌方红外探测器“看不清”目标，可以有效地减小被发现、被识别的概率。由于各种军事目标的红外辐射特征不同，所采用的红外隐身技术措施的侧重点有所不同。

空中飞行的飞机是一个强大的红外辐射源，喷

气发动机是飞机温度最高的地方，所以发动机舱壁、发动机喷管及尾喷管气流是降温的重点区域。首先，采用散热量小的发动机。F-117、B-2、F-22等隐身飞机大多采用涡轮风扇发动机，它是在普通的涡轮发动机的基础上，加装了由涡轮带动的风扇和一个外涵道，这样可以使来自发动机的热气流与温度较低的外涵道冷空气混合，迅速使排气尾焰冷却。其次，改进发动机喷口的设计。为了减小尾喷口的热辐射，目前的隐身飞机普遍采用了二元（矩形）喷口。从二元喷口排出的燃气流比圆形喷口排出的燃气流增加了尾焰的周长，产生了一种“海狸尾”状疏松的而不是圆形射流状致密的热燃气，从而增加了尾焰的表面面积，使热燃气更容易与外界空气掺混，加快燃气的冷却速度，从而达到迅速降温，减弱飞机红外特征的目的。F-117隐身飞机的两个喷口就是两条高15厘米、宽1.83米的长缝，它可以使排气温度从973K~1173K（700~900℃）快速地下降到339K（66℃）。合理设计的二元喷口可使红外辐射强度较圆形喷管降低90%，从而减少跟踪距离45%。第三，采用绝热材料对发动机进行隔热。用高密度碳纤维泡沫或颗粒夹层材料制作飞机发动机舱的衬里，以对发动机进行隔热，防止发动机热量传给机身。B-2隐身轰炸机使用了超过50%的降温隔热复合材料。第四，在飞机表面涂敷红外涂料。将掺入了隔热和抗红外成分的涂料涂敷在飞机的表面，以抑制飞机表面温度，从而减少飞机和天空背景的温度差。

航行在海上的舰船相对于冰冷的海水和天空背景而言是个强大的红外辐射源，因为舰船的动力机舱要比飞机的发动机机舱大得多。但是，由于舰船的动力机舱都位于船的下层，使得传递给船身的热量会迅速地被海水冷却，所以给舰艇带来危险的热辐射源主要来自于舰船上层排出高温燃气的烟囱。据分析，上升烟道内的红外辐射是整个船体的700倍。因此，舰船红外隐身的主要任务就是冷却烟道。通常的做法是在烟道的内侧涂上一层能降低红外辐射的涂料。除此之外，各国还采取了不同的措施来实现降温的目的。法国“拉斐特”级隐身护卫舰使用了一种特殊的玻璃纤维增强材料来制造烟囱，并采用特种漆对灼热部件和

烟囱进行隔热，有效地抑制了红外辐射，一般的红外探测器很难发现“拉斐特”的红外特征。瑞典的“维斯比”隐身巡逻舰是世界隐身舰艇的领先者之一，如图1所示。“维斯比”的船体采用玻璃纤维强化树脂材料等几层组成的“三明治”结构，这种结构具有良好的绝热性能。该舰艇甲板上没有传统的烟囱，燃气涡轮排气管和柴油主机排气管都隐藏在船尾十分接近水面的隐蔽出口处，废气在水线以下排出并混合在船尾喷水推进器的喷溅水流中，热量可迅速耗散。在每个喷水推进器的上方，还设有喷水冷却系统。所有这些设计可以大大减少红外线的辐射量，很好地实现红外隐身。资料表明，当舰船采取红外隐身措施后，若能使目标的红外辐射强度降低90%，则红外探测器发现目标舰船的有效距离将被削减60%左右，舰艇的生存能力将大大提高。



图1 “维斯比”隐身巡逻舰（瑞典）

坦克被人们誉为“陆战之王”，但是随着导弹技术水平和先进的反坦克武装直升机的发展，传统坦克的生存受到严重的挑战，坦克在战场上越来越脆弱。传统坦克的致命弱点，就是缺乏自我保护的隐身能力。而在诸多探测技术中，红外探测技术是坦克生存的致命威胁。所以，坦克的红外隐身至关重要。坦克的红外辐射特点与飞机和舰艇有相同之处，即红外辐射主要来自于发动机及其排出的废气。但不同的是，坦克行进时，其履带与地面的摩擦也会产生热辐射，坦克被阳光照射后迅速升温会与背景形成巨大的温差，这些热辐射特征均会给坦克带来致命的攻击。为此，坦克红外隐身首先关注的是发动机的改进。目前采取的

方法是在坦克的燃料中加入添加剂，使坦克排出的气体减少红外辐射。同时，改进坦克的通风和冷却系统，降低坦克的温度。采用隔热性能好的复合材料制造车体，并在车体表面使用防红外辐射或可降低反射的涂层，以此减弱坦克的热辐射强度。美国 M-2“布雷德利”步兵战车的车体就采用了一种高强度 S-2 型玻璃纤维加热固性聚酯树脂模压而成的复合材料。1991 年年底，北约军事委员会公布了“未来坦克红外/热特性反监测要求”的标准化协议。这个协议中所提出的反监测的设计目标代表了未来坦克隐身技术的发展方向，据专家预测，新的隐身坦克很可能不久就会像 F-117 隐身飞机一样出现在人们面前。

措施之二：避。红外探测器只能在几个特定的波长范围内正常工作，所以若能使目标热辐射波段处于敌方红外探测器工作波段范围之外，则敌方的红外探测器将无法探测到目标，这样，就达到了隐身的目的。

红外线在大气中的传输不同于可见光，可见光在大气中的传输畅通无阻，大气对整个可见光波段都是透明的。红外线则不然，它在大气中的传输跌跌撞撞。大气对整个红外波段来说，有些波段不透明，红外线被严重吸收；有些波段透明，红外线可以传输得很远，这些透明的波段被称为红外线穿透大气的“窗口”。常用的大气窗口为：1~3 μm 、3~5 μm （在 3 μm 处有非常强的吸收）和 8~14 μm ，红外探测器的工作波段必须选择在大气窗口处才能有效工作。

根据辐射理论，物体热辐射的电磁波是连续的电磁波谱，但是在某个特定波长处辐射将达到峰值。对于同一物体，随着温度的降低，峰值波长随之增加，如图 2 所示。不幸的是，许多军事装备工作时的峰值波长均处于大气窗口处，如图 3 所示，军舰的峰值波长处于 8~14 μm 波段内，飞机的峰值波长在 3~5 μm 波段内。因此，红外探测器很容易追踪到这些军事目标。而一旦被其捕获，必将遭到致命的攻击。所以，必须要让目标的峰值波长避开大气窗口，使红外探测器变成瞎子。根据图 2 所示的热辐射曲线，只要降低目标的温度，就能将其峰值波长移出大气窗口，从而避开红外探测器的追踪。

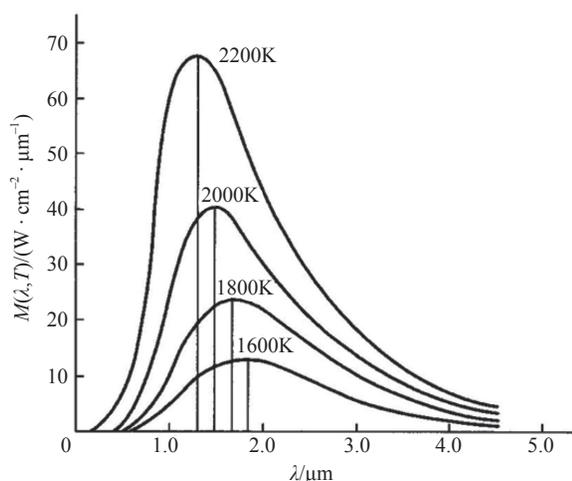


图 2 黑体热辐射强度与波长的关系

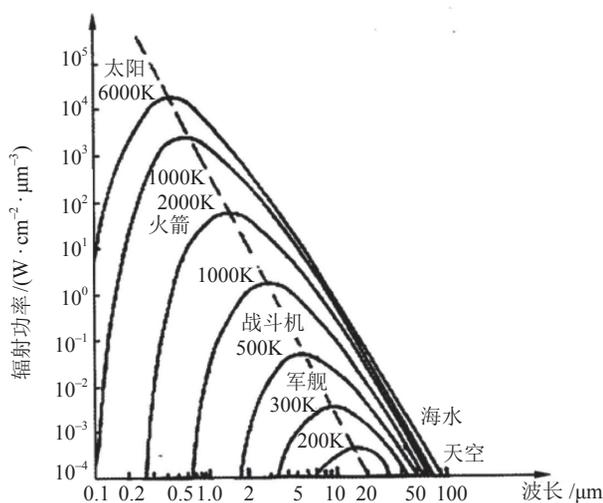


图 3 物体热辐射光谱示意图

措施之三：骗。欺骗就是用伪装将目标隐蔽起来，使敌方探测不到目标的红外辐射源；或者应用红外干扰技术，产生与目标自身红外辐射波相似但强度更大的辐射源，干扰敌方并诱开敌方的红外探测。

在晨光熹微的热带海洋上空，一架侦察机正在开动所有探测仪器向海面搜索一艘军舰，但是始终没有获得有效的信息。直到天空发亮，机组人员才目测到了那艘战舰，它不仅形状怪异，而且舰身被一层水雾笼罩着，使战舰看上去越发显得神秘，这就是英国最新研制的隐身战舰“海幽灵”号。该舰采用了新颖的红外隐身方法，舰上装有特制的喷雾自卫系统，该系统可以将瞬间喷出的水雾笼罩在军舰周围，减小舰艇与背景的温度差，避免形成红外探测可辨别的热点，

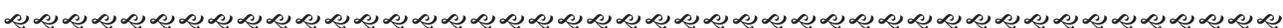
从而使敌方的红外探测器失去捕捉目标的能力，这就是利用水雾对舰艇采取的一种伪装。不过，此方法也有一定的弊端，所喷海水会对舰体、武器等有腐蚀作用，且易结盐于表面。英国航空航天系统分公司研制的红外电子伪装则展示了一种新的自适应隐身技术，在坦克的侧面覆盖手掌大小的多边形瓦片，每块瓦片都具有高度可调的热像素，坦克如同大的热红外屏，坦克操作人员可以通过对热像素的调节，改变坦克的红外图像，使得敌方的红外探测器误认为探测到的是其他目标，如树、灌木，甚至是一只羊或一辆车，从而使目标免受攻击。

采取红外隐身措施的军事目标只是减弱了其红外辐射特征，所以当目标接收到导弹来袭的告警信号，就要靠红外干扰技术来帮忙了。红外干扰机发出与被保护对象红外特征相似的强红外信号，使导弹的红外寻的器视场中出现两个热目标。由于导引头“缺心眼”，贪于追踪强光源，势必偏离真目标。

红外诱饵弹的功能与干扰机相似，只不过它是一种烟火剂类诱饵。但这是干扰红外制导导弹的最主要手段。目前有一种诱饵弹内装红外吸收剂，爆炸后形成云团，吸收从可见光到 14 微米的红外辐射，如同乌贼喷墨保护自身。

事物总是相生相克的。红外隐身技术的产生，必将导致反红外隐身技术的发展。目前，已经研制出工作波长为 4~14 μm 的碲镉汞探头的探测器，这种工作波长的红外探测器能探测温度较低的目标。如今先进的红外探测器已能够准确地区别目标与背景间 0.01 $^{\circ}\text{C}$ 的温差。有资料报道，使用直径 1 米的反射器收集红外辐射时，甚至可以在夜间探测出 800 千米远处的一枝点燃的香烟头。其水平之高，令人惊叹。

目标的红外辐射是一种同物质永恒相伴的影子。因此，红外隐身与反红外隐身的角力会继续下去。21 世纪的战场将会出现越来越多的“冷”兵器。



科苑快讯

我国实践十号卫星返回地球

4 月 18 日，我国首颗微重力科学实验卫星——实践十号返回式科学实验卫星（以下简称实践十号）在轨工作 12 天后，其回收舱准确降落在内蒙古四子王旗预定着陆区域。回收舱着陆状态正常、外观良好，搜索回收任务顺利完成。该任务圆满成功进一步验证了我国返回式卫星控制回收技术，标志着我国在空间科学研究与应用领域迈出坚实步伐。

4 月 6 日，实践十号在酒泉成功发射升空，作为空间科学先导专项首批科学实验卫星中唯一的返回式卫星，同时也是单次开展微重力科学和空间生命科学实验项目最多的卫星，该星在轨运行期间，共开展了 19 项有望揭示微重力条件和空间辐射条件下物质运动及生命活动规律的空间科学实验。

实践十号卫星科学应用系统副总师、中科院动物

所研究员段恩奎告诉记者，依据对已获得的空间实验结果初步分析，实践十号返回式微重力卫星科学实验进展顺利，总体达到了预期的科学实验要求，取得了预期的科学实验结果，一些诸如哺乳动物胚胎在太空发育首获成功等新实验现象，已超越国际上对微重力环境下其结果的预言。实践十号的回收舱返回地面后，其留轨舱还将在轨运行，完成后续空间科学实验项目后，坠入大气层自然烧毁。

实践十号卫星是我国自 2006 年成功发射回收实践八号卫星后，间隔 10 年再次发射回收的返回式卫星，也是我国成功发射回收的第 24 颗返回式卫星。

（转载自 2016 年 4 月 19 日《中国青年报》）