

文章编号: 1672-8785(2007)03-0024-04

弹道导弹在红外波段的突防措施研究

冯云松, 路 远

(解放军电子工程学院, 安徽合肥 230037)

摘 要: 弹道导弹在红外波段的突防主要是通过控制弹头的红外特征信号和对拦截弹实施红外干扰实现的。采取这些措施后, 弹道导弹便难以被拦截弹探测到, 从而成功实现突防。

关键词: 弹道导弹; 红外辐射; 红外干扰; 突防

中图分类号: E928.9 **文献标识码:** A

Research on Penetration of Ballistic Missile in Infrared Wavebands

FENG Yun-song, Lu Yuan

(The PLA Electronic Engineering Institute, Research Department, Hefei 230037, China)

Abstract: Penetration of the ballistic missile in infrared wavebands is achieved mainly by controlling the infrared signatures of its warhead and by implementing infrared jamming to the interceptors. After these measures are adopted, the ballistic missile will be not easy to be detected by interceptors and its penetration in infrared wavebands will be achieved successfully.

Key words: ballistic missile; infrared radiation; infrared jamming; penetration

1 引言

随着红外探测技术的发展, 红外成像技术日益成熟, 如天基红外系统-低轨卫星(SBIRS-LOW)将由部署在1600km左右高度的大约24颗低地球轨道卫星组成, 该系统将用可见光、短波红外、中波红外和长波红外探测器对弹道导弹进行全程跟踪, 并从其他物体中将弹头识别出来。由于目前的增程拦截弹和KKV等都装有红外末端寻的导引头, 因此对弹道导弹的突防构成了严重威胁。如果防御方在弹道导弹上采取一些红外对抗措施, 则可以大幅度提高导弹在中高空的突防能力。对敌实施红外干扰以及采取能抑制弹道导弹红外辐射的措施, 对于提高武器系统的突防、生存能力至关重要^[4]。

2 红外特征信号控制技术

2.1 红外隐身机理^[2]

从红外物理学可知, 物体红外辐射能量由斯蒂芬-玻耳兹曼定律决定:

$$M = \varepsilon\sigma T^4 \quad (1)$$

式中, M 为物体的总辐射出射度, σ 为玻耳兹曼常数, ε 为物体的发射率, T 为物体的绝对温度。

温度相同的物体, 由于发射率不同, 在红外探测器上会显示出不同的红外图像。由于一般军事目标的辐射都强于背景, 采用低发射率的涂料可显著降低目标的红外辐射能量。另外, 为了降低目标表面的温度, 还可采用红外伪装涂料, 因为红外伪装涂料在可见光和近红外具有

收稿日期: 2006-10-11

作者简介: 冯云松(1979—), 男, 安徽全椒人, 硕士, 主要研究方向为光电对抗、图像处理等。

较低的太阳能吸收率和一定的隔热能力, 可使目标表面的温度尽可能接近背景的温度, 从而降低目标和背景的辐射对比度, 减小目标的被探测概率。红外侦察系统能探测目标的最大距离 R 为

$$R = (I\tau_a)^{1/2} [\pi/2D^*(NA)\tau_0]^{1/2} \times [1/(\omega\Delta f)^{1/2}(V_s/V_n)]^{1/2} \quad (2)$$

式中, I 为目标的辐射强度, τ_a 为大气透过率, τ_0 为光学系统透过率, D^* 为探测器的探测率, NA 为光学系统的数值孔径, ω 为瞬时视场, Δf 为系统带宽, V_s 为信号电平, V_n 为噪声电平。

红外隐身的主要目的是减少公式 (2) 中第一项的各项取值, 也就是说, 目标的红外隐身应包括两方面内容, 一是改变目标的红外辐射特性, 即改变目标表面的发射率; 二是降低目标的红外辐射强度, 即通常所说的热抑制技术。

弹道导弹的红外隐身技术目前主要采用涂覆低发射率材料、用镀金气球封装弹头和弹头冷却等方法。

2.2 低发射率涂层^[1]

在弹头上涂覆一种低发射率涂层是降低弹头红外特征的有效方法。涂覆碳基或木质烧蚀涂层的弹头的红外发射率约为 0.9 ~ 0.95, 而采用未抛锈钢制外表面的弹头的红外发射率在 0.4 ~ 0.8 的范围内。如果在弹头上改镀一层很薄的抛光金质镀层 (发射率约为 0.02), 则其发射率可降低到约二十至四十分之一。

由于在阳光下镀金弹头的温度会升到远高于室温, 这种方法最适合在弹道完全或大部分处在地球阴影区的情况下使用。在这种夜间攻击的弹道上, 如果假定初始温度为室温 (300K), 则重型弹头的温度将缓慢地降低到初始温度之下。

2.3 用镀金气球封装弹头^[1]

将弹头封装于很薄且与弹头绝热的镀金气球中, 可以进一步降低弹头的红外特征。这种气球会迅速冷却到接近其约 180K 的夜间平衡温

度。如果这个气球达到 200K 的平衡温度, 那么与温度在 300K 以下的气球相比, 其红外特征对工作在 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 波段的探测器而言可降低到大约十分之一, 对工作在 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 波段的探测器而言, 则可降低到二百分之一。通过采用这种完全被动式的红外隐身方法, 能够把弹头的红外特征降低到二百至四百分之一 (在 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 波段) 到四千至八千分之一 (在 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 波段), 相当于使 KKV 红外导引头的探测距离缩短到了十四至二十分之一 (在 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 波段) 到六十至九十分之一 (在 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 波段), 从而显著缩短了可供 KKV 实施机动碰撞弹头目标的时间。

2.4 弹头冷却隐身^[6]

从式 (1) 可看出, 在弹头的表面积和材料确定的条件下, 其辐射功率与弹头表面温度的四次方成正比。因此, 如果把弹头冷却到足够低的温度, 就可以大大缩短其红外探测距离, 从而使防御方的 KKV 无法探测到弹头并对其进行攻击, 即使 KKV 能够探测到弹头, 也没有足够的时间进行机动而命中它。一个较为简单的方法是把弹头封装于一个冷却隐身罩内, 其结构如图 1 所示。罩体采用绝热材料并与弹头隔开, 由少量液氮进行冷却。如将罩体温度冷却到液氮温度 (77K), 可使弹头的红外特征降低到其室温下的红外特征的一百万分之一。

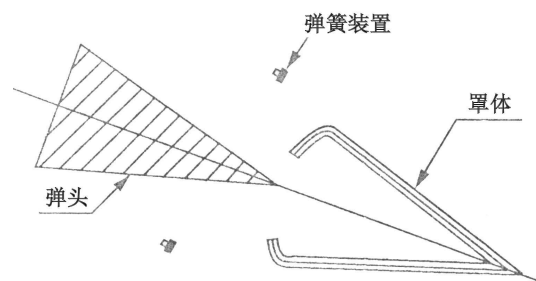


图 1 弹头与罩体的示意图

处于液氮温度下的带罩弹头在 $5\mu\text{m}$ 波长处的红外辐射强度差不多为不带罩弹头的 $1/10^{12}$ 。这意味着, 如果一个 KKV 的 $5\mu\text{m}$ 探测器能使其在 1000km 处开始对室温弹头进行寻的, 那么对于带隐身罩弹头它就只能在约 1m 处开始进行寻

的。同样,对于工作在 $10\mu\text{m}$ 波长的 KKV, 捕获距离也将从 1000km 缩短到 1km 。当 KKV 在 1km 的距离上探测到目标时, 假定其接近速度为 10km/s , 横向脱靶量为 20m , 这时它所需要的平均横向加速度将是 $400g$, 这就大大超出了它的机动能力, 因而 KKV 的拦截概率将减少到 0。

3 红外干扰技术

3.1 红外干扰弹^[5]

红外干扰弹, 又称红外诱饵, 是从弹头上释放出来的有源红外干扰器材。它可形成一个或多个假目标, 以模拟真实目标的红外辐射光谱, 诱骗拦截器, 使其脱离对真实目标的跟踪, 从而达到保护真实目标的目的。

为了使红外干扰弹能有效地干扰拦截器的红外导引头, 必须考虑两个因素: 一是红外干扰弹应能遮盖目标本身的红外辐射, 另外是红外干扰弹应能欺骗红外寻的导引头。为此, 红外干扰弹必须满足以下三个基本要求:

(1) 红外干扰弹的光谱特性必须与被掩护目标接近或一致;

(2) 为将红外寻的导引头从被掩护目标引向红外干扰弹, 红外干扰弹的辐射强度必须满足下式:

$$I_j = KI_t \quad (3)$$

式中, I_j 为红外干扰弹的辐射强度, I_t 为被遮盖目标的红外辐射强度, K 为压制系数。

(3) 为诱惑红外寻的拦截器, 红外干扰弹与被掩护目标应在红外寻的导弹的光学系统视场角内停留必要的时间。在短时间内, 由于红外干扰弹的辐射强度比目标的红外辐射强度大得多, 红外寻的拦截器将被引向按一定速度运动的红外干扰弹, 直到红外寻的拦截器丢失真目标为止。

红外干扰弹的发光材料为由燃烧剂、氧化剂和黏合剂按一定比例配制的混合物, 如镁-铝-铁氧化物, 镁-聚四氟乙烯和镁-亚硝酸盐等; 辐射波长一般为 $1.8\mu\text{m} \sim 5.2\mu\text{m}$ 。装有四氯化钛

和烟火剂的诱饵弹可覆盖 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 及以上的辐射波长。

国外为弹道导弹设计的红外干扰弹是一种既可收拢贮存, 又能充气成形的有热性能的飞行体。位于飞行体中央纵轴的可伸缩装置既是飞行体的刚性支撑物, 又可帮助其收拢贮存。其前端与位于飞行体顶端的刚性鼻锥相连。伸缩装置内藏充气部件、加热装置、加热控制器和加热装置电池。构成圆锥形飞行体锥面和锥底的外层蒙皮是可折迭收拢的, 它与前端刚性鼻锥相切连接, 并保持密封。放气收拢时, 形成皱褶(折叠翼)。外层蒙皮所用的材料为纺炭布, 其厚度为 $0.75\mu\text{m}$ 。鉴于这种材料的特性和厚度, 用纯机械方法是难以使其撑开成形的, 必须采用电点火烟火管驱动充气方法才能使其张开。位于外层蒙皮里面的是可充气衬里, 使用的材料为聚酰亚胺膜, 厚度为 $0.375\mu\text{m}$ 。夹在外层蒙皮和可充气衬里之间的是加热套。该加热套通过由加热控制器和加热装置电池组成的加热装置加热后, 可使飞行体具备与温度较高的飞行弹头相似的红外辐射特性。贮存时, 飞行体收拢呈伞捆状。启动时, 用电点火方式引燃烟火管, 驱动切刀切断支撑弹簧的栓管拉销, 使伸缩装置缩进。同样, 充气部件中的加压充气部件也用烟火驱动方式泄放气体, 给充气衬里充气, 从而使整个飞行体膨胀成圆锥体外形。

在红外被动干扰中, 还可以通过施放冷烟幕造成一片掩护云的方式, 衰减地面红外辐射, 从而遮断星载仪器的红外探测光路; 通过施放热烟幕或者红外箔条形成热云, 以增大光波散射, 如图 2 所示; 在球载空中对抗平台上发射可喷焰的假弹头或红外诱饵进行示假, 以诱骗红外探测器。

3.2 红外干扰机^[1]

红外干扰机主要由高功率红外辐射源和调制盘组成, 其工作原理如图 3 所示。红外干扰机主要有两种: 角度欺骗式干扰机和致盲式干扰机。其中, 欺骗式干扰机是通过模拟真实目标的红外光谱而发射红外能量的。虽然能量较弱, 但比真实目标的红外能量要强数倍至十倍; 当拦

截器寻的器的视场中出现两个或多个红外辐射源时, 导引头将跟踪多点源能量中心; 当拦截导弹接近目标和干扰源时, 因干扰机发射的红外能量比目标强得多, 寻的器视场不可能改变, 拦截器将被诱骗到由干扰机制造的假目标上, 从而使真实目标得到有效的保护。致盲式干扰机则可发射很强的红外辐射能量, 迫使来袭拦截器及其制导系统中的红外探测器强制工作于非线性饱和区, 使其不能形成清晰的目标图像, 甚至将探测器击穿, 从而使拦截器不能有效地跟踪目标, 导致拦截器失效或者偏离目标引爆, 使真实目标得到保护。为此, 红外干扰机必须满足这样一些条件: 红外光谱辐射必须覆盖拦截器导引头响应的光谱区; 发射的红外辐射必须非常强以便有足够的能量进入拦截器的目标红外信号处理器; 干扰脉冲必须通过拦截器的调制盘; 采用非相干光源的干扰设备必须进行频率调制, 且调制频率必须在拦截器制导系统及其探测、放大和信号处理的通频带之内。

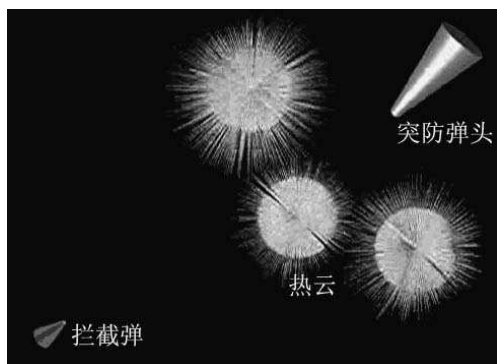


图 2 弹头施放烟幕形成遮蔽云

目前, 红外干扰机中使用的红外辐射源大多为 $0.4\mu\text{m} \sim 1.5\mu\text{m}$ 和 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 波段的非相干光源, 它们主要有以下三种类型:

(1) 各种强光灯, 如铯蒸气灯、氙弧光灯和燃料喷灯等;

(2) 电热式红外辐射源, 如加热陶瓷红外辐射源和燃料加热陶瓷红外辐射源等;

(3) 燃油型加热红外辐射源, 这种红外辐射源又称“热砖”(Hot Brick), 这是利用燃料室的燃料加热各种膜片, 使其产生热辐射的红外辐射源。

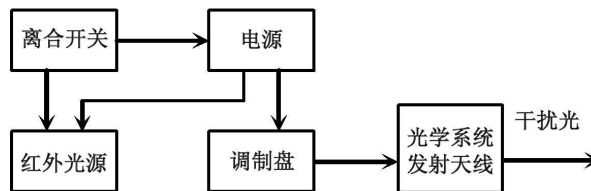


图 3 红外干扰机工作原理框图

4 结束语

目前, 弹道导弹的突防措施均较为单一, 不足以对抗日益发展的先进拦截器的复合制导体制, 因此, 为了使弹道导弹能更有效地突防、提高自身的生存能力, 对其在红外波段的突防措施的研究将向四个方向发展: ①研究全波段隐身技术, 既要兼顾红外隐身、可见光隐身、激光隐身, 也要考虑雷达隐身; ②对目标的全方位隐身; ③红外隐身技术的多功能性; ④红外隐身措施的低成本。而在这四者中, 全波段隐身技术是当今研究的主流方向, 这种技术主要依靠优良的隐身材料和新的突防措施^[3]。

参考文献

- [1] 刘石泉. 弹道导弹突防技术导论 [M]. 北京: 宇航出版社, 2003.
- [2] 付伟. 红外隐身原理及其应用技术 [J]. 红外与激光工程, 2003, 31(1):
- [3] 蒋耀庭, 王跃. 红外隐身技术与发展 [J]. 红外技术, 2003, 25(5):
- [4] 王立平. 导弹预警卫星 [J]. 航天, 2000,
- [5] 时家明, 等. 红外对抗原理 [M]. 解放军出版社, 2002.
- [6] 美国物理学会研究组. 关于国家导弹防御拦截系统的报告. 2003.7