

导弹发射车的一种红外伪装方法及效果评估

沈均平 刘建永

(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京, 210007)

摘 要 通过分析发射车的生存概率因素, 阐明了单纯依靠回避运动和加强发射车的自身防护能力是难以对抗红外成像制导导弹的。提出红外伪装网、红外烟幕弹被动伪装和主动伪装相结合的方法, 并对该方法进行分析、评估, 验证了该方法能够使发射车目标的生存概率大大提高。该方法对其它目标对抗红外成像制导武器有一定的借鉴作用。

关键词 导弹发射车 红外成像制导 红外伪装网 红外烟幕

An IR Camouflage Method of Missile Launch Vehicle and Its Effect Evaluation

SHEN Junping LIU Jianyong

(Engineering Institute of Engineering Corps, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing, 210007)

Abstract: Through the analysis of the survival probability of a missile launch vehicle, a fact that it is difficult for a missile launch vehicle to counter the infrared imaging guided missile only by means of avoiding action and reinforced armor is clarified. A method to combine infrared camouflage net with infrared smoke is put forward, analyzed and evaluated. It has been verified that this method can greatly increase the survival probability of missile launch vehicles and is also helpful for other similar targets to counter infrared imaging guided weapons.

Key words: missile launch vehicle, infrared imaging guided weapon, infrared camouflage net, IR smoke

1 引言

如果每辆导弹发射车可以发射 10 枚导弹(该比率与以往许多国家的情况一致), 发射车辆遭到打击后, 实际发射的导弹可能减少大约 80%。所以导弹发射车辆将是敌方的打击重点(例如美军在最近十年来的局部战争中, 均将导弹发射车作为重点打击目标。陆基导弹是登

陆作战的“杀手锏”, 一旦被摧毁, 就可能打乱整个作战行动, 甚至动摇继续作战的信心和决心, 后果十分严重。

红外成像寻的制导与雷达和激光等制导方式相比具有许多显著的优点, 它能提供二维图像信息, 采用计算机图像信息处理实现制导智能化, 具有制导精度高、抗干扰能力强和全天候工作能力, 打击距离远、具有在复杂背景

作者简介: 沈均平 (1979 —), 男, 在读研究生, 现在主要从事电磁伪装的学习和研究。

E-mail: tianyimoe@sohu.com

条件下捕获、识别、锁定和跟踪目标的自动决策能力(发射后不管)等。已成为世界各国重点研究和开发的制导武器之一,对陆基导弹发射车构成了严重威胁;而发射车自身的防护能力有限,因此,如何通过伪装技术措施提高导弹发射车的生存能力是一个非常紧迫和重要的问题,具有重大意义。

2 暴露征候

发射车行驶过程中发动机、排气管等周围的车体被加热;外部加热(日光照射)使得发射车外表面迅速升温;车体质量分布极不均匀,各部位的热惯量差异十分悬殊,导致发射车各部位表面温度的变化速率极不一致、温度起伏较大,且存在明显的特征边界。热成像系统就是依靠探测这些特征来发现、识别发射车目标的。

3 发射车目标的生存概率模型

发射车目标的生存概率的总体评价模型为:

$$P_s = 1 - P_1(1 - P_2)P_3P_4 \quad (1)$$

式中, P_1 为发射车目标被发现识别的概率, P_2 为发射车机动回避概率, P_3 为发射车目标被跟踪概率, P_4 为发射车被击中后的毁伤概率。根据(1)式,可通过降低 P_1 、 P_3 、 P_4 值和提高 P_2 值来共同提高发射车的生存概率。

4 伪装方案设计

红外成像制导导弹的速度一般在 500m/s 以上,而发射车的速度一般在 2m/s 左右。设发射车目标的尺寸为 3m×9m(一般发射车的尺寸均大于 3m×9m),要使发射车机动回避成功,必须使跟踪点偏离发射车目标 4.7m 以上。假设导弹最后惯性飞行距离在 800m 范围内(实际值小于这个值),则

$$800/500 \times 2 = 3.2 < 4.7m$$

所以单纯依靠发射车的机动来回避该型导弹是行不通的。现在的先进导弹杀伤力大,发

射车的自身防护能力有限,被击中后的毁伤概率 P_4 趋近 1。所以,为了提高发射车的生存概率,必须对发射车进行伪装。采用红外伪装网可降低发射车被发现和识别的概率 P_1 ,投放红外烟幕弹可降低发射车的被跟踪概率,利用两者来共同对抗来袭红外成像制导导弹,可提高发射车的生存概率。

4.1 伪装网伪装

红外热成像伪装技术的目的是要尽量减小发射车与地物背景之间的红外辐射温差,力图使发射车的形体特征与背景融合一致。目前普遍采用的红外伪装方法是在目标表面涂以低发射率涂料或披挂伪装网。

发射车表面涂覆低发射率涂料,可明显降低其辐射能量,它的静态应用已取得较好的效果。但是当前低发射率涂料颜色品种尚不够丰富,难以形成较理想的热迷彩;而且动态行驶中发射车表面总是落满了尘土,各个区域上涂层发射率的降低以及彼此间的差异是无法显示出来的。相反,伪装网技术成熟,而且波段兼容性好。

4.2 红外烟幕

红外干扰弹存在爆炸面积有限、作用时间短和爆炸时的温度过高,容易被红外成像制导引头滤波等缺陷,红外烟幕却有干扰时间长、面积大、温度和目标温度接近及干扰波段宽等优点。红外烟幕干扰实质是凭借大量的微小颗粒对红外辐射的吸收与散射综合作用,把入射的红外辐射衰减到光电瞄准探测系统不能可靠工作的程度,造成导引头不能拾取足够的辐射能量(信息)以区分目标和背景,引起导引失败。例如当目标产生的红外辐射通过遮蔽烟幕的透过率小于 15% 时,被动红外成像系统将无法显示完整的目标图像,起到对红外成像的干扰作用。

5 伪装效果评估

5.1 红外伪装的伪装效果

发射车披挂红外伪装网后,改变了发射车的表面热惯量的分布,部分遮挡了阳光对发射车的直接照射,从而减弱和改变车体对太阳辐

射的吸收和储存,同时也阻碍了车体的散热;它将发射车车体温度的鲜明起伏改变为自然起伏,温度起伏的平均水平接近于地物背景,歪曲分割发射车目标外形,进而使发射车目标和背景融合在一起。

冷静态抑制试验结果证明:发射车外表面披挂伪装网,削弱了发射车本身以及其与地物背景热惯量悬殊差异所形成的显著形体特征。

热动态条件实验证明:披挂伪装网后,发射车目标和地物背景的温差总是低于无网发射车,有效地减弱和抑制了其红外辐射,明显降低了其形体特征的显著性,降低了发射车目标被发现和跟踪的概率,达到了较高的红外伪装指标——目标的热部位同背景的温差减少到 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 以内(美军把这一温度范围定为红外伪装指标)^[1]。

可知在发射车表面披挂红外伪装网的伪装效果良好。

红外伪装网的伪装机理也可用红外探测方程来解释,红外探测方程为

$$L = \sqrt{I_1/2I_2\beta} \quad (2)$$

$$I_1 = K\epsilon T^4 A$$

式中, L 为探测距离, K 为常数, ϵ 为目标发射率, A 为目标面积, I_1 为目标辐射强度, I_2 为背景辐射强度, β 为红外探测系统的视场角, T 为目标温度。

无网发射车的发射率约为 0.9, 红外伪装网上斑点的平均发射率大约为 0.75 左右, 考虑到有网发射车的降温, 根据 (2) 式计算得到红外导引头的探测距离缩短为原来的 0.85 倍。根据经验, 使用良好的伪装网后, 机动目标的被发现概率可降低 50% 左右。

5.2 红外烟幕的伪装效果

现有红外成像制导武器的目标跟踪模式可以分成两大类, 即基于图像灰度及其分布的跟踪模式和基于目标形状特征的跟踪模式。所采用的具体算法主要有相关算法、形心(质心)跟

踪等算法。其中质心跟踪方式计算量较小, 适用于成像质量较好的情况; 相关算法虽然计算量较大, 但可有效地排除杂散红外光的干扰, 能在低信噪比条件下提供最好的跟踪性能, 跟踪距离远, 可靠性高。它们是目前使用最广泛的跟踪算法。

形心干扰: 加入干扰物后, 跟踪波门随干扰物的运动, 不断扩大直至最后向全视场开放, 跟踪系统重新进行搜索, 对目标进行捕获; 或者波门内的目标和干扰物的质心漂离原来的跟踪点, 且漂离距离达到干扰成功的像素要求时, 均认为干扰成功。

相关干扰: 如果一开始目标与干扰物同时存在于相关区; 或者是预测事件结束后, 目标和干扰物还同时存在于相关区, 无论是与目标融合还是分离, 对于相关跟踪模式来讲, 都不能去除干扰而只对目标进行计算, 当误差积累达到一定值时, 导弹偏离目标, 跟踪于干扰源。

5.2.1 形心干扰效果

形心跟踪的计算颇为简便, 能提供恒增益, 不受线性跟踪视频限制。设导弹跟踪的目标图像面积为 A , 灰度函数为 $g(x, y)$, 成像跟踪的质心 (x_c, y_c) 表达式为

$$x_c = \frac{\int_A xg(x, y)dA}{\int_A g(x, y)dA} \quad (3)$$

$$y_c = \frac{\int_A yg(x, y)dA}{\int_A g(x, y)dA} \quad (4)$$

施放红外烟幕干扰后, 目标和烟幕融合, 成像制导系统不能区分目标和干扰物, 把它们当作一个大目标看待, 导致其形心偏离原成像跟踪点, 由于烟幕面积远远大于发射车目标, 而且作用时间较长, 远远大于 8s(红外成像导引头的预测时间为 1s ~ 2s, 从丢失目标到重新锁定目标的时间一般需要 6s 左右), 所以导弹的跟踪误差较大, 难以准确跟踪发射车目标。

5.2.2 相关干扰效果

如图 1 所示, 在相关跟踪模式中, 设在成像系统视场 R 内景物的实时图像亮度为 $r(u, v)$, 在不同时间预先摄取和储存的同一景物图像在

视场 S 内的亮度为 $s(u, v)$ 。

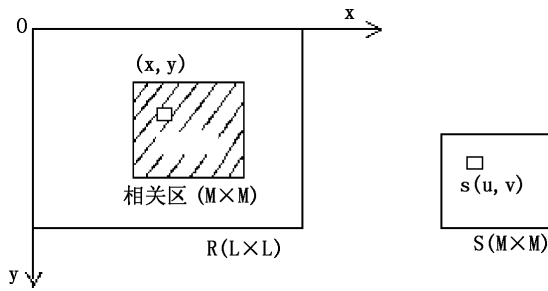


图 1 基准图像和实时图像

其相关函数 $c(x, y)$ 为

$$c(x, y) = \int \int s(u, v)r(u + x, v + y)dudv \quad (5)$$

若用离散量表示, 则有

$$c(x, y) = \sum \sum s(u, v)r(u + x, v + y) \quad (6)$$

当前后两幅图像相同时, 即 $c(x, y) = c_{max}$, 两幅图像完全配准 (重合), 即使对于伪装很好的静止目标, $c(x, y)$ 也能达到 0.9 以上, 导弹准确跟踪目标, 因此, 其伪装一旦被揭露, 则伪装本身成为新的暴露特征, 不具备对抗相关跟踪模式的能力, 这也证明单单用红外伪装网进行伪装是不行的。施放烟幕干扰后, 导致导引头摄取的前后两幅图像内容不同, 发射车目标被烟幕全部遮蔽, 值为无穷小, 导致前后两幅图像无法匹配, 输出跟踪误差修正信号为无穷大, 导弹将无法跟踪目标 (脱靶)。

加入红外烟幕弹后, 发射车的机动回避概率将会有很大程度的提高。

考虑到随着导弹与目标之间距离的缩小, 目标在图像平面上的投影将扩大, 且变得越来

越清晰, 红外烟幕干扰效果下降, 在此设加入红外烟幕后红外成像制导导弹的跟踪概率下降至原来的 50%。

5.3 综合效果评估

根据公式 (1) 得到的伪装后发射车目标的生存概率为

$$P_s = 1 - 0.5P_1 \cdot (1 - P_2) \cdot 0.5P_3 \cdot P_4$$

$$= 1 - 0.25P_1(1 - P_2)P_3P_4 \quad (7)$$

假设发射车没有进行伪装前遭袭后生存概率为 50%, 根据公式 (7) 可计算出, 伪装后发射车的生存概率可提高到 87.5%(在此还没有考虑对发射车进行伪装后发射车目标的机动回避概率得到迅速的提高的因素)。

6 结语

上述分析表明, 红外伪装网不但能缩短导引头的发现、识别距离, 还能降低发射车被侦察、发现、跟踪的概率; 同时降低发射车目标的灰度, 增强了红外烟幕弹的干扰效果。结合红外烟幕弹的主动干扰, 能极大地提高发射车对抗红外成像制导导弹的能力。由于红外烟幕弹的消光、散射作用, 它对可见光、近红外、紫外、激光甚至毫米波制导方式也能起到一定干扰作用。在下一步工作中, 可以采用全波段伪装网, 提高发射车目标伪装波段的兼容性; 更深入地分析红外烟幕弹发射方向、速度、时机、枚数及发射车目标的机动方法等问题, 进一步提高发射车在红外成像导弹袭击下的生存概率。

简 讯

用于 $2\mu\text{m}$ 遥感的 AlGaAsSb/ InGaAsSb 光电晶体管

$2\mu\text{m}$ 探测器是利用激光雷达技术测量大气 CO_2 分布所需的关键器件。虽然目前在市场上可以买到用于这一波长的 InGaAs 和 HgCdTe 探测器, 但是由于缺乏

足够的增益, 这些探测器的探测率都受到了限制。

美国 AstroPower 公司最近为美国宇航局 Langley 研究中心研制了一种用于 $2\mu\text{m}$ 遥感的新颖 AlGaAsSb/InGaAsSb 光电晶体管。经光谱测量表明, 该器件在 $1.9\mu\text{m} \sim 2.1\mu\text{m}$ 区域显示出了最高的响应率, 其 $2\mu\text{m}$ 探测率达到了 $3.9 \times 10^{11} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 。

□ 高国龙