

·光电系统·

## 末敏弹干扰诱饵效能评估

薛建国, 巨养锋

(63880部队, 河南 洛阳 471003)

**摘要:**在介绍末敏弹干扰诱饵的机理、分析影响末敏弹命中精度及诱饵干扰效能的基础上,建立了诱饵效果评估模型,提出了命中概率下降率这一概念,并给出了其表达式,命中概率下降率与末敏子弹的被探测性、末敏子弹的自身探测性、干扰诱饵特性、作战区域背景特性等有关;最后,探讨了诱饵干扰效能的评估试验方法。

**关键词:**末敏弹;传感器;干扰诱饵;效能评估;试验方法

中图分类号:TN972+.1

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2012)01-0012-04

## Effectiveness Evaluation on Decoy for Jamming Terminal-sensitive Projectile

XUE Jian-guo, JU Yang-feng

(63880 Army Unit, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** Based on the introduction of the jamming mechanism of the decoy for terminal-sensitive projectile, the analysis of the influence factors of the terminal-sensitive projectile hit probability and decoy jamming effectiveness, the model of the decoy jamming effectiveness evaluation is established. The concept of the falling rate of the hit probability and its expression are proposed. The falling rate of the hit probability concerns with the detectivity of the terminal-sensitive projectile, the decoy jamming characteristics and the operational area background characteristics. The test method of the decoy jamming effectiveness evaluation is discussed.

**Key words:** terminal-sensitive projectile; sensor; decoy; effect evaluation; test method

末敏弹是“末端敏感弹药”的简称,它是把先进的敏感技术和自锻破片战斗部技术应用到子母弹领域的一种新型弹药,是高新技术与传统技术相结合的产物。与传统弹药相比,末敏弹具有作战距离远、命中概率高、毁伤效果好、效费比高和发射后不管等优点。末敏弹的出现,对装甲集群目标等构成了严重威胁。为了应对这一威胁,国外提出了多种假目标诱饵干扰的技术措施,美国专利US5814754描述的成像假目标诱饵<sup>[1]</sup>就可以模拟目标对雷达、毫米波和红外的反射特性,诱骗多波段探测手段的武器制导系统。装甲集群探测到末敏弹的威胁时,迅速布撒假目标诱饵,以降低末敏弹的威胁,通过分析假目标诱饵的工作机理,建立诱饵干扰效果评估模型,并提出具体的试验方法对末敏弹干扰诱饵进行效能

评估。

### 1 影响末敏子弹命中概率的因素分析

评价末敏弹作战效能的指标应为毁伤效率,而毁伤的前提是命中目标,因为假目标诱饵对末敏弹的干扰效能主要体现在对命中概率的影响,因而在此只讨论影响末敏子弹命中概率的因素,且假设探测到目标即命中。末敏子弹的工作过程一般分为4段:抛撒段、开伞充气拉直段、减速段稳态扫描段和动能弹丸发射段。从末敏子弹的作战过程和工作原理可以看出,影响其命中概率的因素主要包括4个方面:末敏子弹抛撒条件、目标特性、末敏子弹性能和气象条件<sup>[2-6]</sup>。下面分别进行讨论。

### (1) 末敏子弹抛撒条件对命中概率的影响

末敏子弹的抛撒条件包括抛撒点、抛撒高度、抛撒EFP误差、子弹初速度等。设想地面有这样一个区域,被攻击目标位于该区域内,只有末敏子弹扫过该区域,目标才有可能被命中;落在该区域外,目标肯定不被命中,称该区域为有效命中区域。不难看出,末敏子弹落在有效命中区域的概率与抛撒点、抛撒高度、抛撒EFP误差、子弹初速度等抛撒条件有关。而末敏弹有多种类型,如末敏炸弹、末敏炮弹、末敏火箭弹等,其投放方式各不相同,因而投放条件对有效命中区域概率的影响也不尽相同。另一个很重要的抛撒条件是末敏子弹抛撒密度,与之对应的还有目标的密集度。末敏弹是集群对集群作战,末敏子弹的抛撒密度和目标的密集度会对作战过程中的整体毁伤概率产生很大影响,为了便于分析末敏子弹命中概率的影响因素,将问题简化,假设末敏子弹与目标是一对一的关系,并且在理论设定的抛撒条件下,末敏子弹刚好且只一次扫过目标。

设  $A$  为末敏子弹落到有效命中区域的事件,其概率记为  $p_{S1}(A)$ ,  $p_{S1}(A)$  是抛撒点  $s$ 、抛撒高度  $h$ 、抛撒EFP误差  $e$ 、子弹初速度  $v_0$  的函数

$$p_{S1}(A) = p_{S1}(s, h, e, v_0) \quad (1)$$

### (2) 风对末敏子弹命中概率的影响

由于末敏子弹多为伞降,下降速度在几十米每秒,旋转速度在几周每秒,而风速一般在几米每秒,因而必须考虑风对末敏子弹命中概率影响。末敏弹在设计时,从理论上充分考虑了对作战区域的覆盖能力,但因风的影响,会造成对作战区域的漏扫,从而影响命中概率。风可以分为横风和纵风,风对毁伤概率的影响不仅与风的大小有关,还与风的方向有关,即与风速矢量有关。

设  $B$  为在末敏子弹落到有效命中区域的前提下,受风影响条件下末敏子弹扫描到目标的事件,其概率记为  $p_{S2}(B)$ ,  $p_{S2}(B)$  是风速度  $v_w$  的函数

$$p_{S2}(B) = p_{S2}(v_w) \quad (2)$$

### (3) 末敏子弹传感器和目标特性对命中概率的影响

在末敏子弹扫描到目标的前提下,能否命中目标,还取决于传感器是否能够持续探测到目标,以及对目标的定位精度、爆炸成形药罩的控制性能是否满足要求等,而这与末敏子弹传感器探测灵敏度、末敏子弹信息融合及控制能力、目标尺寸、目标辐射特性、背景辐射特性和目标运动速度等因素有关。

设  $C$  为末敏子弹在扫描到目标前提下命中目标的事件,其概率记为  $p_{S3}(C)$ ,  $p_{S3}(C)$  是末敏子弹传感器探测灵敏度  $R$ 、末敏子弹信息融合及控制能力  $N$ 、目标辐射特性  $I_t$ 、目标尺寸  $S_t$ 、目标运动速度  $v_t$  和背景辐射特性  $I_b$  的函数

$$p_{S3}(C) = p_{S3}(R, N, I_t, I_b, S_t, v_t) \quad (3)$$

设  $S$  为末敏子弹自其载体抛射后击中目标的事件,其概率记为  $p_S(S)$ , 则

$$p_S(S) = p_{S1}(A)p_{S2}(B)p_{S3}(C) \quad (4)$$

令  $p_{S12}(B|A) = p_{S1}(A)p_{S2}(B)$ , 称其为末敏子弹对攻击区域的有效覆盖概率,则式(4)可写为

$$p_S(S) = p_{S12}(B|A)p_{S3}(C) \quad (5)$$

## 2 诱饵干扰机理及干扰效能评估

### 2.1 诱饵干扰机理

干扰就是使用假目标作为诱饵,诱使末敏子弹对其攻击,从而降低末敏子弹对真实目标的命中概率,保护己方装甲集群。诱饵为被动干扰,干扰能否有效,其中最重要的一点就是其尺寸和电磁辐射特性(主要是红外辐射特性和毫米波辐射特性等)是否与被保护目标一致,即诱饵的逼真性。对采用红外敏感器的末敏弹,可以采用与坦克装甲目标红外特性近似的假目标进行干扰;从金属板与坦克模型的毫米波特性和曲线可以看出<sup>[7]</sup>,两者特征接近,由于末敏弹在进行目标识别时不会识别目标特性的一些细节,因此,与坦克大小接近的金属板可以对采用毫米波敏感器的末敏弹形成干扰;如果在金属板附加上与坦克近似的红外辐射特性,则可以对复合敏感器的末敏弹形成干扰。当装甲集群探测到可疑来袭目标时,要对其进行判断和定位,当确认来袭目标为末敏弹后,投放假目标诱饵,并启动其开始工作,对末敏子弹进行诱骗干扰。

### 2.2 诱饵干扰效能指标

影响诱饵干扰效能的主要指标包括:对末敏弹的探测定位正确率和探测定位反应时间、布设诱饵的成功概率和反应时间、末敏弹对干扰诱饵的探测概率等。如果从概率的角度来评估诱饵干扰的最终作战效能,可以使用以下两个指标:诱饵被末敏子弹命中的概率和诱饵使末敏子弹对攻击目标的命中概率下降率。前者是从诱饵被作为末敏弹攻击对象的

角度来描述诱饵的作战效能,后者是从诱饵对被保护目标的贡献来描述诱饵的作战效能。对于实际作战性能评估来说,后一个评价指标含义更明确。前面已对末敏弹对目标的命中概率进行了讨论,下面对诱饵作为目标时被命中的概率进行讨论,前提假设同以上。

设  $D$  为装甲集群在有效时间内探测到来袭末敏弹的事件,其概率记为  $p_{a1}(D)$ ,  $p_{a1}(D)$  是探测定位正确率  $P_1$  和探测定位反应时间  $t_s$  的函数

$$p_{a1}(D) = p_{a1}(p_1, t_s) \quad (6)$$

设  $E$  为探测到末敏弹条件下,在有效时间内将诱饵正确布设好的事件,其概率记为  $p_{a2}(E)$ ,  $p_{a2}(E)$  是投撒布设成功率  $P_2$ 、投撒布设反应时间  $t_B$  的函数

$$p_{a2}(E) = p_{a2}(p_2, t_B) \quad (7)$$

设  $F$  为诱饵在满足末敏子弹传感器有效探测时间、且被扫描到的条件下被命中的事件,其概率记为  $p_{a3}(F)$ ,  $p_{a3}(F)$  是末敏子弹传感器探测灵敏度  $R$ 、末敏子弹信息融合及控制能力  $N$ 、诱饵尺寸  $S_a$ 、诱饵辐射特性  $I_a$ 、背景辐射特性  $I_b$  的函数

$$p_{a3}(F) = p_{a3}(R, N, S_a, I_a, I_b) \quad (8)$$

设  $G$  为诱饵被末敏子弹命中的事件,其概率记为  $p_G(G)$ ,由于末敏弹的作战过程没有改变,所以依据概率乘法定律有

$$p_G(G) = p_{S12}(B|A)p_{a1}(D)p_{a2}(E)p_{a3}(F) \quad (9)$$

令  $p_{a12}(E|D) = p_{a1}(D)p_{a2}(E)$ , 称其为诱饵布设成功概率,则式(9)可写为

$$p_G(G) = p_{S12}(B|A)p_{a12}(E|D)p_{a3}(F) \quad (10)$$

由式(10)可以看出,末敏子弹对诱饵的攻击概率不但与诱饵干扰性能有关,而且与末敏子弹对攻击区域的有效覆盖概率等有关。

下面讨论诱饵与目标并存时末敏子弹对目标的命中概率。

假设在一枚末敏子弹的攻击区域内存在一个被攻击目标,有一个诱饵被布设于其内,用于保护目标;当诱饵与目标同时存在时,末敏子弹首先扫描诱饵和目标的概率是相同的;当末敏子弹先扫描诱饵而未探测到时,还将继续扫描目标且可能命中目标。

从末敏弹的作战机理可知,其攻击目标或诱饵是互相独立,且排斥的事件。根据以上的分析有下列概率事件可能发生:

(1) 诱饵未成功布设,目标独自存在于有效攻击区的概率是:  $1 - p_{a12}(E|D)$ , 此时,目标被命中的概率

是:  $[1 - p_{a12}(E|D)]p_{S12}(B|A)p_{S3}(C)$ 。

(2) 诱饵成功布设,目标、诱饵共存于末敏子弹的攻击区内的概率是:  $p_{a12}(E|D)$ , 此时,目标被攻击分以下2种情况:

① 目标首先被扫描到,且被探测到进而被命中的概率是:  $50\%p_{a12}(E|D)p_{S12}(B|A)p_{S3}(C)$ 。

② 诱饵首先被扫描到,但因未被探测进而未被命中的概率是:  $50\%p_{a12}(E|D)[1 - p_{a3}(F)]$ , 此时扫描到目标且命中的概率是:  $50\%p_{a12}(E|D)[1 - p_{a3}(F)] \times p_{S12}(B|A)p_{S3}(C)$ 。

将上述各种情况下目标被命中的概率相加,得出在有一个诱饵被布设的情况下,末敏子弹命中目标的概率  $p$  为

$$\begin{aligned} p &= p_{S12}(B|A)p_{S3}(C)[(1 - p_{a12}(E|D)) + \\ &50\%p_{a12}(E|D) + 50\%p_{a12}(E|D)(1 - p_{a3}(F))] = \\ &p_S(S)[1 - 0.5p_{a12}(E|D)p_{a3}(F)] \end{aligned} \quad (11)$$

在此提出命中概率下降率的概念,其含义是因诱饵干扰而使末敏子弹命中概率下降的程度,用  $\xi$  表示,则  $\xi = 1 - 0.5p_{a12}(E|D)p_{a3}(F)$ 。在以上的假设条件下,式(11)可简化为

$$p = \xi \cdot p_S(S) \quad (12)$$

从上面的分析可知,  $\xi$  是一个与装甲集群的探测性能、末敏子弹探测性能、干扰诱饵性能、作战区域背景特性有关的系数,是  $p_{a1}(D)$ 、 $p_{a2}(E)$  (或  $p_{a12}(E|D)$ ) 和  $p_{a3}(F)$  的函数,只要通过试验获得  $p_{a1}(D)$ 、 $p_{a2}(E)$  和  $p_{a3}(F)$  的结果,就可以对诱饵的干扰效能做出评价,可以将  $p_{a1}(D)$ 、 $p_{a2}(E)$  和  $p_{a3}(F)$  列为诱饵的干扰效能评估指标。

对于目标、干扰诱饵比例不同的情况,采用以上方法也可推导出类似的公式。

### 2.3 诱饵干扰效能试验方法探讨

诱饵干扰效能评估可采用2种试验方法,即实测法和仿真法。实测法是根据末敏子弹实弹试验的测量数据或者是末敏子弹的历史统计数据,通过数理统计方法来评定诱饵的干扰效能。实测法因为试验消耗较大,限制了应用,因此,仿真法成了较为理想的试验方法。仿真法又分为数学仿真法和半实物仿真法,半实物仿真法就是将末敏弹核心部件-末敏子弹传感器或其他部件引入试验系统,在特定的条

件下通过反复试验,取得大量数据,再通过数理统计方法来评定诱饵干扰效能的方法。从式(10)和前面的分析研究可以看出,诱饵干扰效能主要取决于3个环节,第1个环节是对投撒末敏弹的探测定位,第2个环节是诱饵的布设,第3个环节是末敏子弹对诱饵的探测。也就是说,只要通过试验,获得在有效时间内探测末敏弹的概率 $p_{a1}(D)$ 、诱饵的有效布设概率 $p_{a2}(E)$ 和诱饵被末敏子弹传感器所探测的概率 $p_{a3}(F)$ ,就可以通过计算得到末敏弹命中概率下降率 $\xi$ 。由于末敏弹的作战为多对多,而诱饵也是以多干扰多,其与目标、末敏子弹的比例难于确定,因此,在半实物仿真试验的基础上,再通过数学仿真推演到其他情况,从而获得诱饵干扰效能较全面的评估结果。

下面讨论诱饵干扰效能主要概率指标试验方法。

(1)在有效时间内对末敏弹的探测定位概率试验方法

被试对象为探测系统,配试对象为抛撒中的末敏弹,而探测系统对末敏弹的探测依据是其尺寸和光电辐射特性,主要是可见光特性和红外辐射特性。目标的光电辐射特性主要取决于自身表面材料及其温度、背景辐射特性等,由可以设计这样的试验方法,利用与末敏弹表材和形状、质量相同的模型,在近似末敏弹作战环境中,以末敏弹的飞行速度进行投射,探测系统对其侦察定位。通过多次试验,取得 $p_{a1}(D)$ 的统计值。

(2)对诱饵的有效布设概率试验方法

有效布设概率试验相对较简单,该试验主要是考核投撒布设的可靠性,测试其反应时间,根据反应时间的指标定义和试验结果,通过综合分析处理,获得 $p_{a2}(E)$ 的值。

(1)和(2)可以结合试验,直接获得 $p_{a12}(E|D)$ 的试验统计值。

(3)诱饵被末敏子弹传感器所探测的概率试验方法

试验的重点是配试设备的选择和末敏子弹扫描

过程的模拟。首先,配试设备的选择必须依据被试设备指标的要求进行选择,主要是传感器选择;其次,末敏子弹的扫描过程不受末敏弹投放点和风速的影响,也就是说,末敏子弹对地面的扫描是依据设计、由远即近、无遗漏的。为此选择一高塔,将末敏子弹模拟系统安装其上,在距塔一定距离、与作战环境类似的地面布设诱饵,末敏子弹模拟系统开机工作,对诱饵所在区域进行扫描,记录其是否探测到诱饵,重复进行试验,经综合分析处理,获得 $p_{a3}(F)$ 的值。

### 3 结束语

末敏弹是未来战场坦克装甲集群的主要威胁之一,采用诱饵干扰是一种有效的防御手段,而对其干扰效果进行评估具有重要意义。在介绍诱饵的干扰机理和分析影响末敏弹命中精度和诱饵干扰性能因素的基础上,建立了诱饵干扰评估模型,提出了命中概率下降率这一概念,并给出了其表达式。最后,探讨了诱饵干扰效能的评估试验方法。

### 参考文献

- [1] 乔小晶,王长福,任慧.新概念无源干扰技术[J].火工品,2001(1):47-49.
- [2] 李福海,董晓瑞.末敏弹的毁伤效率[J].四川兵工学报,2008,29(5):26-28.
- [3] 谭和林.多管火箭末敏弹系统弹道特性分析[D].南京:南京理工大学,2006.
- [4] 郭锐.导弹末敏子弹总体相关技术研究[D].南京:南京理工大学,2006.
- [5] 罗来帮.末敏弹简易红外成像起爆控制系统研究[D].南京:南京理工大学,2006.
- [6] 薛增全,刘文举,郑斌.末敏弹毁伤计算模型探讨研究[J].弹箭与制导学报,2008,28(5):95-98.
- [7] 张彦梅.基于被动毫米波探测技术的近场目标识别方法[J].北京理工大学学报,2006,26(7):622-625.
- [8] 戴哲,田颖,石岩.光电模拟器的设计及在半实物仿真试验中的应用[J].光电技术应用,2010,25(2):68-70.