

便携导弹抗击巡航导弹作战效能研究

白渭雄¹, 吴法文¹, 刘钊伶²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 中国人民航空学院, 天津 300300)

摘要:根据便携导弹和巡航导弹的基本性能指标,对便携导弹抗击巡航导弹的作战效能进行了分析计算,给出了计算结果,并提出了提高便携导弹抗击巡航导弹作战效能的技术途径。

关键词:便携导弹;作战效能;巡航导弹;射击效率

中图分类号:TJ760;E927 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)02-0051-04

几次局部战争后,如何有效抗击巡航导弹的进攻已成为地面防空面临的焦点问题,便携导弹被认为是抗击巡航导弹廉价而重要的装备之一^[1-2]。为了客观评估便携导弹在抗击巡航导弹防空作战中的地位,有必要对其抗击效能进行研究,以便更好地发挥便携导弹的潜能,在抗击巡航导弹的进攻中发挥应有的作用。

1 作战效能指标体系

对便携导弹抗击巡航导弹作战效能的研究可归结为对便携导弹抗击巡航导弹射击效率的研究,射击效率的大小表征了作战效能的高低。影响单兵便携式防空导弹射击效率的指标主要有:①发现巡航导弹的概率 $P_{发现}$;②操作兵器的能力 $P_{操作}$;③捕获跟踪目标的概率 $P_{捕获}$;④单发导弹的命中概率 $P_{命中}$;⑤单发导弹的毁伤概率 $P_{毁伤}$;⑥武器系统的可靠性 $P_{可靠性}$;⑦单发便携导弹对巡航导弹的射击效率 K 。其基本关系为

$$K = P_{发现} P_{操作} P_{捕获} P_{命中} P_{毁伤} P_{可靠性} \quad (1)$$

2 作战效能指标的计算

2.1 射手发现目标的概率

要对空中目标实施攻击,射手首先必须发现目标。文献[3]给出了在一定距离上目视发现巡航导弹的概率曲线,如图1所示。由图可知,距离越近,概率越大,距离越远,概率越小。

2.2 射手的射击操作能力

射手的射击操作能力是指射手掌握射击要领、正确操作武器系统的能力,关键是指对射击诸元的正确估测、前置量的合适选取。 $P_{操作}$ 可取值0.6~0.95。

2.3 捕获跟踪目标的概率

射手发现目标后,要启动地面能源,据筒瞄准捕获目标,使目标落入便携导弹导引头的瞬时视场(2°左右)内,直至导引头锁定目标。射手捕获跟踪目标的概率,与目标距离和目标的视线角速度有关,目标距离在探测范围之内是捕获的前提条件,目标的视线角速度越大,捕获的概率越小,反之,捕获的概率越大。在目标视线角速度比较大的情况下,射手在瞄准时,身体需作大幅度转动,造

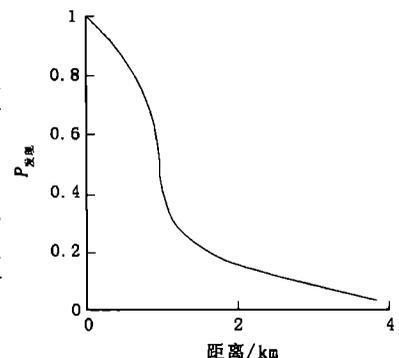


图1 目视发现概率

收稿日期:2004-01-06

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:白渭雄(1960-),男,陕西清涧人,副教授,主要从事军事抗干扰新技术研究。

成便携导弹作大幅度地晃动,而且便携导弹的视场角只有 2° 左右,很难将目标套进便携导弹的视场角,因此瞄准十分困难。在目标视线角速度比较小的情况下,射手在瞄准时,身体无需作大幅度转动,便携导弹在瞄准过程中比较平稳,将目标套进便携导弹的视场角就比较容易,因此捕获跟踪目标的概率就比较大。可以认为:射手捕获目标的概率与目标的视线角速度 \dot{q} 成反比,这里设定捕获概率满足关系式:

$$q \leq 2^\circ/\text{s 时}, P_{\text{捕获}} = 1; \quad 2^\circ/\text{s} \leq q \leq 30^\circ/\text{s 时}, P_{\text{捕获}} = \frac{30 - q}{28}; \quad 30^\circ/\text{s} \leq q \text{ 时}, P_{\text{捕获}} = 0 \quad (2)$$

2.4 武器系统的可靠性

武器系统的可靠性是发挥武器装备作战效能的重要保证,一般系统可靠性可达0.9,即 $P_{\text{可靠性}} = 0.9$ 。

2.5 单发导弹的命中概率

单发导弹的命中概率,通常由系统给出,第2代便携导弹的命中概率一般可达95%。即在使用条件下,导弹落入以目标红外辐射源为中心,半径 $R_0 = 1.5 \text{ m}$ 圆内的概率为95%。

大量的试验证实:导弹的制导误差是服从正态分布规律的。由此可得,概率密度函数为 $\phi(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(y^2+z^2)/2\sigma^2}$,极坐标形式为 $\phi(r, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-r^2/2 \cdot \sigma^2}$ 。

导弹落入 $r < R_0$ 圆内的概率为 $P[r < R_0] = 1 - R_0^2/2\sigma^2$,由 $P[r < R_0] = 0.95$ 可求得: $\sigma = 0.613$ 。由于巡航导弹(BGM-109C)的几何尺寸长6.24 m,宽0.53 m,从侧面看是一矩形,从前方和后方看是一圆形。便携导弹从正侧面攻击巡航导弹的命中概率为 $P[-3.12 < y < +3.12, -0.265 < z < +0.265] = \int_{-3.12}^{+3.12} \int_{-0.265}^{+0.265} \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(y^2+z^2)/2\sigma^2} dydz = 0.2052 \times 0.9994 = 0.205$ 。

便携导弹从正前方(或正后方)攻击巡航导弹的命中概率可由如下公式计算:

$$R_0 = 0.53/2 = 0.265 \text{ m}, P[R < R_0] = 1 - e^{-R_0^2/2 \cdot \sigma^2} = 1 - e^{-(0.265)^2/2 \cdot (0.613)^2} = 0.089, P_{\text{平均命中}} = 0.188。$$

导弹与目标交会时,由于交会角度不同,等效交会面积将不同,从而引起的命中概率也会不同。例如:便携导弹从正侧面攻击巡航导弹时的交会面积为 $S = 6.24 \text{ m} \times 0.53 \text{ m}$,从正前方(或正后方)攻击巡航导弹时的交会面积为 $S = \pi R_0^2 = 0.53 \text{ m}/2 = 0.265 \text{ m}$ 圆的面积,当导弹轴线与目标轴线成任一角度 α 与目标遭遇时,巡航导弹与便携导弹交汇时的等效面积为 $S = S_1 |\cos \alpha| + S_2 \sin \alpha$, $S_1 = \pi R_0^2$; $S_2 = 6.24 \text{ m} \times 0.53 \text{ m}$, α 取值范围为 $0 \sim 180^\circ$ 。

由于目标的等效面积 S 是变化的,因此命中概率也会发生变化,而且与交汇角 α 有关,图2给出了命中概率与交汇角 α 的关系曲线。由图2可以看出便携导弹对巡航导弹的命中概率还是非常低的,其原因是由于采用了触发引信,如果采用近炸引信,结果将得到很大改善。比如,近炸引信的感应范围为0.5 m,便携导弹只要进入巡航导弹0.5 m的范围,即可认为便携导弹击中了目标。便携导弹从正侧面攻击巡航导弹的命中概率计算公式将变为 $P[-3.62 < y < +3.62, -0.765 < z < +0.765] = \int_{-3.62}^{+3.62} \int_{-0.765}^{+0.765} \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(y^2+z^2)/2\sigma^2} dydz = 0.5557 \times 0.9997 = 0.5555$ 。

便携导弹从正前方(或正后方)攻击巡航导弹的命中概率可由如下公式计算:

$$R_0 = (0.53 \text{ m} + 1 \text{ m})/2 = 0.765 \text{ m}, P[R < R_0] = 1 - e^{-(0.765)^2/2 \cdot (0.613)^2} = 0.541$$

同理,可得命中概率与交会角 α 的关系曲线如图3所示, $P_{\text{平均命中}} = 0.5546$ 。可见,改进便携导弹引信可大大提高对巡航导弹的命中概率。

2.6 单发导弹的毁伤概率

与飞机相比,巡航导弹的非要害部件较少,而且要害部件如制导系统、战斗部及推进系统比较集中,依次紧密排列在弹体中,任何一个要害部件受到重创,都会使巡航导弹无法有效地完成其作战使命。因此,只要命中目标,即可认为成功的毁伤了目标,即 $P_{\text{毁伤}} = 1$ 。

2.7 对“战斧”巡航导弹的可射击率

在发现目标并启动地面能源、导引头正常工作后,是否可以向目标射击取决于目标是否在发射区。在发射区内,可射击率 $P_{\text{可射击}} = P_{\text{发现}} \times P_{\text{捕获}}$ 。下面分迎攻、侧攻和尾追攻击3种情况分别讨论。

迎攻。由于便携导弹的杀伤区近界为 800 m,巡航导弹的飞行速度为 250 m/s,便携导弹的飞行速度为 600 m/s,为了在杀伤区近界前击毁目标,至少应在距目标 $(800/600) \times 250 + 800 = 1\ 133\text{ m}$ 的距离上导弹出筒,在据筒状态下,射手发现目标、识别目标、启动地面能源、捕获并跟踪目标、估测发射诸元、等动作,大约要 6~9 s,武器系统的反应时间为 6 s,总时间约 12~15 s,即在目标到达 1 133 m 前 12~15 s,射手就应发现目标,距离为 $1\ 133 + (12 \sim 15) \times 250 = 4\ 133 \sim 4\ 883\text{ m}$,否则,将来不及作相关的动作,导弹不能正常发射。由图 1 可知,在 4 000 m 外发现巡航导弹的概率几乎为零,因此,迎攻时的可射击率 $P_{\text{可射击}} = 0$

侧攻。如果巡航导弹从侧面飞越,从射击条件上讲有 2 个要求,一是目标视线角速度不能大于导引头的最大跟踪角速度,二是目标必须在便携导弹的发射区内。如果目标的航路捷径是 1 500 m,射手观察目标时目标视线角速度 q 与目标位置 (x, y) 存在如下关系:

$$q = 57.3 v_m \cdot y / (x^2 + y^2) \tag{3}$$

其中, v_m 为目标速度,当 $y = 1\ 500\text{ m}$,忽略导弹高度时, $q = 57.3 \times 1500 \times 250 / (x^2 + 1500^2) = 21.4875 \times 10^6 / (x^2 + 1500^2)$,当 $x = 0$ 时, q 取得最大值 $9.55^\circ/\text{s}$ 。一般情况下,导引头最大跟踪角速度为 $10^\circ/\text{s}$ 左右,据式(3),可由 q 计算出 $P_{\text{捕获}}$,如图 4 所示(图中距离为“+”表示尾追,距离为“-”表示迎攻)。可见,由于航路捷径 $y = 1\ 500\text{ m}$ 时对目标的最大发现概率为 0.2,由文献(2)可知对目标的探测距离为 $X = -2\ 000 \sim +4\ 500\text{ m}$,由于便携导弹的发射远界可达 5 000 m 左右,扣除操作延迟,可得捕获区间为 $x = -2\ 000 \sim 1\ 659\text{ m}$,则可得 $P_{\text{可射击}}$,如图 4 所示。

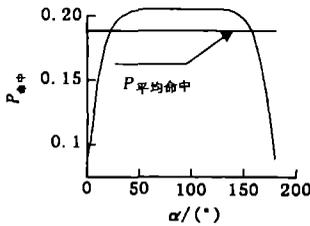


图 2 弹目交会时的命中概率

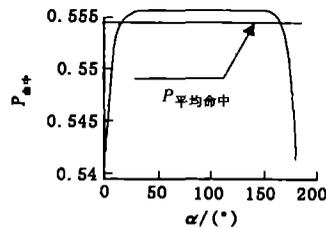


图 3 弹目交会时的命中概率

尾攻。当航路角较小时,射手不能从迎头跟踪连续转入尾追跟踪,而是在目标过航前启动地面能源,目标过航后进行跟踪、捕获和射击。假定 0 航路捷径时,目标飞行高度为 100 m,可据式(3)计算目标视线角速度,并进一步求出 $P_{\text{捕获}}$,由于在 $x \geq 365\text{ m}$ 时 $q \leq 10^\circ/\text{s}$,因此,扣除操作延迟,可得捕获范围为 365~1 850 m,如图 5 所示。由图 5 可知:航路捷径为 0 m 时,尾追攻击具有较高的射击概率,这是由于航路捷径小,对目标的发现概率比较大,距离上有 $1\ 850 - 365 = 1\ 485\text{ m}$ 的捕获纵深,时间上接近 6 s。

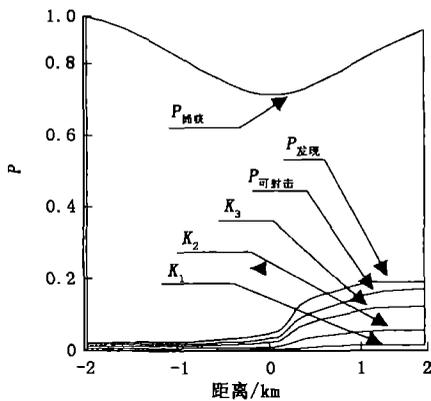


图 4 $y = 1\ 500\text{ m}$ 的概率

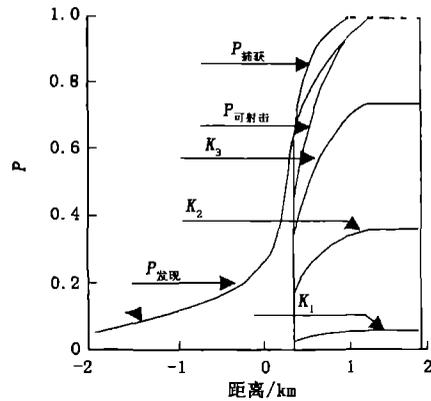


图 5 $y = 0\text{ m}$, 目标高度 $z = 100\text{ m}$ 时的概率

3 单发便携导弹对巡航导弹的射击效率

由上面讨论的几项概率指标得其基本关系式为 $K_1 = P_{\text{操作}} P_{\text{可靠性}} P_{\text{可射击率}} P_{\text{命中}} P_{\text{毁伤}}$,取 $P_{\text{操作}} = 0.75$, $P_{\text{可靠性}} = 0.9$,对目标的可射击率已经分别由图 4 和图 5 得到,命中概率与导弹和目标的交会角有关,0 航路捷径时,射手攻击目标时只能进行尾追攻击,弹目交会角基本为 0,因此,由图 2 可知: $P_{\text{命中}} = 0.09$;当航路捷径为

1 500 m 时,射手攻击目标时可进行侧攻,由于交会角随攻击姿态不同而不同,具有很大的不定性,可根据图 2 计算出平均值,得 $P_{命中} = 0.187$, $P_{毁伤}$ 取值为 1。

3.1 航路捷径为 0,目标高度为 100 m 时的射击效率

由 $K_1 = P_{操作} P_{可靠性} P_{可射击率} P_{命中} P_{毁伤}$, 得 $K_1 = 0.75 \times 0.9 \times P_{可射击率} \times 0.09 \times 1 = 0.061 \times P_{可射击率}$, 射击效率 K_1 (见图 5) 最高只有 0.061。若采用近炸引信,射击效率 K_2 (见图 5) 最高可达 0.365。

3.2 航路捷径为 1 500 m 时的射击效率

$K_1 = 0.75 \times 0.9 \times P_{可射击率} \times 0.187 \times 1 = 0.126 \times P_{可射击率}$, K_1 (见图 4) 最高可到 0.025。若采用近炸引信, K_1 (见图 4) 最高可达 0.063。这主要是由于在航路捷径为 1 500 m 时发现目标的概率只有 0.2,造成射击效率很低。

3.3 多发便携导弹对巡航导弹的射击效率

在多发导弹对同一目标进行齐射时,射击效率 K_n 由公式 $K_n = 1 - (1 - K_1^n)$ 计算,若为 3 发齐射,则射击效率为 $K_3 = 1 - (1 - K_1)^3$ (见图 4、图 5),由图 5 可见: K_3 最高可达 0.77,可见装有近炸引信的便携导弹 3 发齐射时,对巡航导弹的射击效率还是比较高的。

4 结论

便携导弹对巡航导弹具有一定的射击效率,但是作战效能不够理想,且作战时机较短,其主要原因是:目视发现目标的概率低;射手操作导弹的时间较长,反应较慢;对快速移动的巡航导弹捕获能力低;采用触发引信的导弹对巡航导弹的命中概率较低。为了提高便携导弹对巡航导弹的作战效能,在技术上应采用以下对策:①用情报雷达为便携导弹提供目标指示,解决目视发现目标概率低的问题;②为便携导弹配置发射平台,为人工捕获提供一个平稳的支撑点,减小晃动,提高捕获概率;③为发射平台配置计算单元,代替人工进行射击诸元、射击提前量的计算,减少射击过程中的反应时间,以增大作战时机;④在便携导弹上配备近炸引信,提高对巡航导弹的命中精度。

参考文献:

- [1] 白渭雄,吴法文. 巡航导弹的红外辐射特征研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003,4(6):26-28.
- [2] 白渭雄,吴法文. 便携导弹对巡航导弹的探测距离计算[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(1):31-34.
- [3] 安柱,曲红星,靳学胜. HN-5 便携式地空导弹抗击巡航导弹的射击[J]. 廊坊陆军导弹学院学报,2002,(1):28-31.

(编辑:田新华)

Research on the Fighting Efficiency of Portable Missile upon Cruise Missile

BAI Wei-xiong¹, WU Fa-wen¹, LIU Yi-ling²

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China; 2. Civil Aviation University of China, Tian Jing 300300)

Abstract: According to the basic performance index of the portable missile and the cruise missile, the fighting efficiency of the portable missile resisting the cruise missile is analyzed and calculated. The result of calculation is also presented. At the same time the technical approaches are proposed to improve the fighting efficiency of the portable missile resisting the cruise missile.

Key words: portable missile; fighting efficiency; cruise missile; firing efficiency