

# 便携导弹对巡航导弹的探测距离研究

白渭雄, 吴法文

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**根据便携导弹导引头的工作原理和巡航导弹的辐射特征,对巡航导弹被便携导弹导引头发现的远界进行了分析计算,给出了计算结果,并对便携导弹攻击巡航导弹的发射区进行了相关分析。

**关键词:**便携导弹;发现距离;巡航导弹;低空防卫

**中图分类号:**V448.13;E927 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)01-0031-04

便携式地空导弹从出现至今,已在多次局部战争中使用,并且取得了较大的战果,实战证明:便携式地空导弹是一种有效地低空近程防空武器。它不但对低空突防的武装直升机和战斗机具有较大的威胁,而且在抗击巡航导弹的防空作战中也可发挥重要作用。因此,研究便携导弹对巡航导弹的探测距离,对有效发挥便携式地空导弹武器系统对巡航导弹的抗击效能具有重要意义。

## 1 便携导弹对巡航导弹的探测距离

由于便携式地空导弹的寻的方式主要采用被动红外寻的制导,而从便携式导弹红外导引头的构成来看,主要采用的是硫化铅探测器和碲化铋探测器,目前还在向凝视成像的方向发展,本文主要讨论采用硫化铅探测器和碲化铋探测器的便携式导弹对巡航导弹的探测距离。

### 1.1 具有硫化铅探测器的便携导弹对巡航导弹的探测距离

采用硫化铅探测器的便携导弹主要是第1代便携导弹,由于红外谱段在 $1\sim 3\mu\text{m}$ ,只能探测飞行器发动机喷口处的高温热源,不能探测飞行器蒙皮气动热和尾焰热量,因此只能进行尾追攻击。采用硫化铅探测器的导引头主要采用调制盘方式来探测目标,其探测距离公式为

$$R = \left[ \frac{\pi \cdot D_0 \cdot (NA) \cdot D^* \cdot \tau_a \cdot \tau_0 \cdot \tau_r \cdot J}{2(\omega \cdot \Delta f)^{1/2} \cdot (V_s/V_p)} \right]^{1/2} (\text{cm}) \quad (1)$$

其中: $D_0$ 为光学系统入射孔径直径; $(NA)$ 为光学系统数值孔径; $D^*$ 为红外光敏元件单位面积带宽下的探测度; $\tau_a$ 为大气透过率; $\tau_0$ 为光学系统的透过率; $\tau_r$ 为调制盘的有效透过率; $J$ 为目标的红外辐射强度; $\omega$ 为探测器的瞬时视场角; $\Delta f$ 为探测器信号通道带宽(Hz); $\frac{V_s}{V_p} = \rho$ 为红外探测器的信噪比。

各参数取国外某型导弹典型值如下:

$D_0 = 4.2\text{ cm}$ ,  $(NA) = 0.55$ ,  $D^* = 6 \times 10^9\text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ ,  $\tau_r = 0.25$ ,  $\omega = 1.5^\circ$ ,  $\tau_0 = 0.5$  换算为立体角,  $\omega = 0.0006853\text{ sr}^{-1}$ ,  $\Delta f = 1200\text{ Hz}$ , 大气透过率  $\tau_a$  在 $1\sim 2\text{ km}$ 距离内取为 $0.8$ , 红外探测器的信噪比  $\rho$  取为 $3$ 。

结合文献[1]对巡航导弹的红外辐射特征的探讨,巡航导弹在巡航速度下由气动加热,羽流及尾喷管辐射产生的红外辐射如表1所示。

收稿日期:2003-8-29

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。

表1 巡航导弹红外辐射强度

		$\lambda = 0.5 \sim 3 \mu\text{m}$	$\lambda = 3 \sim 5 \mu\text{m}$	$\lambda = 8 \sim 12 \mu\text{m}$
蒙皮气	$J_{M1}$ (迎头 $S = 0.21 \text{ m}^2$ )	$6.909 \times 10^{-3}$	$7.014 \times 10^{-1}$	9.324
动加热	$J_{M2}$ (正侧面 $S = 3 \text{ m}^2$ )	$9.870 \times 10^{-2}$	10.02	$1.332 \times 10^{-2}$
羽流	$J_{Y1}$ (迎头 $S = 0.11 \text{ m}^2$ )	1.15	20.4	
辐射	$J_{Y2}$ (正侧面 $S = 0.28 \text{ m}^2$ )	2.99	53.1	
尾喷管	$J_W$ (正后方 $S = 0.205 \text{ m}^2$ )	11.455	32.061	12.661
辐射				

由表1可知,尾喷管产生的红外辐射强度为: $J_0 = 11.455 \text{ W/sr}$ ,当在巡航导弹正后方进行探测时,辐射最强, $J = J_0$ ,当在与巡航导弹后向轴线成 $\alpha$ 夹角方向进行探测时,其辐射强度为 $J = J_0 \cos \alpha$ 。由以上参数代入式(1)可得:

$$R = 957(\cos \alpha) \text{ (m)} \tag{2}$$

当 $\alpha = 0$ 时, $R = 957 \text{ m}$ 。对巡航导弹的探测远界如图1所示。

1.2 具有碲化铋探测器的便携导弹对巡航导弹的探测距离

采用碲化铋探测器的便携导弹主要是第2代和第3代便携导弹,由于红外谱段在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ ,因而不但能探测飞行器发动机喷口处的高温热源,而且能探测飞行器蒙皮气动热和尾焰热量,因此对目标可进行全向攻击。采用碲化铋探测器的导引头通常采用2元或4元光敏元件,没有采用调制盘,而采用十字叉脉冲调制方式来探测目标,其探测距离公式为

$$R = \left[ \frac{\pi \cdot D_0 \cdot (NA) \cdot D^* \cdot \tau_a \cdot \tau_0 \cdot J}{2(\alpha \cdot \beta \cdot \Delta f)^{1/2} \cdot (V_s/V_p)} \right]^{1/2} \text{ (cm)} \tag{3}$$

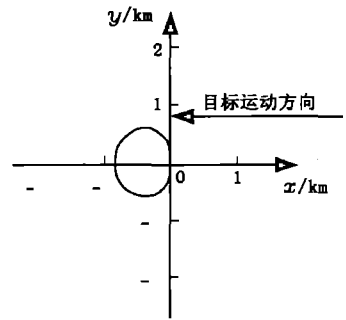


图1 第1代便携导弹对巡航导弹的探测远界

其中: $D_0$ 为光学系统入射孔径直径; $(NA) = \frac{D_0}{2f}$ 为光学系统数值孔径; $f$

为光学系统等效焦距; $D^*$ 为红外光敏元件单位面积带宽下的探测度; $\tau_a$ 为大气透过率; $\tau_0$ 为光学系统的透过率; $J$ 为目标的红外辐射强度; $\Delta f$ 为探测器信号通道带宽(Hz), $\frac{V_s}{V_p} = \rho$ 为红外探测器的信噪比; $\alpha$ 为红外条型光敏元件短边的视场角; $\beta$ 为红外条型光敏元件长边的视场角。

另外,可根据文献[1]计算出羽流辐射在巡航导弹正后方的辐射强度如表2所示。(单位: $\text{W/sr}$ )

表2 巡航导弹正后方向羽流辐射强度

	$\lambda = 2.4 \sim 3.1 \mu\text{m}$	$\lambda = 4.2 \sim 4.55 \mu\text{m}$
$L$	$1.057 \times 10^{-3}$	$1.872 \times 10^{-2}$
$J_{Y3}$ (正后方 $S = \pi r^2 = 0.33 \text{ m}^2$ )	3.485	61.72

1.2.1 巡航导弹在不同方向的辐射强度

迎头方向:便携导弹在巡航导弹的前向轴线上,红外辐射强度为 $J_A$ 。这时便携导弹方向有2个参量 $J_{M1}$ 和 $J_{Y1}$ 。在 $\lambda = 3 \sim 5 \mu\text{m}$ 谱段, $J_{M1} = 7.014 \times 10^{-1}$ , $J_{Y1} = 20.4$ , $J_{Y1}$ 远大于 $J_{M1}$ ,可忽略 $J_{M1}$ ,主要考虑 $J_{Y1}$ , $J_A = J_{Y1} = 20.4$ 。

在正侧面方向:便携导弹与巡航导弹的轴线垂直,红外辐射强度为 $J_B$ 。这时便携导弹方向有2个参量: $J_{M2} = 10.02$ , $J_{Y2} = 53.1$ , $J_B = J_{M2} + J_{Y2}$ 。

在正后方:便携导弹在巡航导弹的后向轴线上,红外辐射强度为 $J_C$ 。便携导弹方向有2个参量: $J_W = 32.06$ , $J_{Y3} = 61.72$ , $J_C = J_W + J_{Y3}$ 。

在便携导弹与巡航导弹前向轴线成角度 $\alpha$ 时:

1)当 $0 < \alpha < 90^\circ$ 时

$$J_D = J_{M2} \cdot \sin \alpha + J_{Y1} \cdot \cos \alpha + J_{Y2} \cdot \sin \alpha = (J_{M2} + J_{Y2}) \sin \alpha + J_{Y1} \cdot \cos \alpha \tag{4}$$

2)当 $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ 时

$$J_D = J_{M2} \cdot \sin \alpha + J_{Y2} \cdot \sin \alpha + J_W \cdot (-\cos \alpha) + J_{Y3} \cdot (-\cos \alpha) = (J_{M2} + J_{Y2}) \sin \alpha + (J_W + J_{Y3}) \cdot (-\cos \alpha) \tag{5}$$

严格地说,  $J_D$  中的  $J_{Y2} \sin \alpha$  项存在一定的误差, 只可看作是近似值。

### 1.2.2 探测距离的计算

取国外某型第2代便携导弹基本参数  $D^* = 1.5 \times 10^{-10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ ,  $D_0 = 3.55 \text{ cm}$ ,  $\tau_0 = 0.5$ ,  $\rho = 5$ , 红外光学敏感元件的长边  $x = 1.3 \text{ mm}$ ,  $y = 0.1 \text{ mm}$ , 导引头瞬时视场角为  $1.5^\circ$ , 因此红外光学敏感元件的长边包含  $0.75^\circ$  视场。即:  $\beta = \frac{0.75^\circ}{180^\circ} \times \pi = 13.1 \times 10^{-3} \text{ rad}$ , 并可得红外光学敏感元件短边的视场  $\alpha = \frac{y \cdot \beta}{x} = 1 \times 10^{-3} \text{ rad}$ , 由于光敏元件面积  $Ad = x \cdot y = \alpha \cdot \beta \cdot f^2 = 0.0013 \text{ cm}^2$ , 则  $f = \sqrt{\frac{Ad}{\alpha \cdot \beta}} = 9.96 \text{ cm}$ ,  $NA = \frac{D_0}{2 \cdot f} = 0.18$ 。

设  $r$  为章动圆半径, 由于探测器的长边等于章动圆的直径, 既:  $x = 2r$ , 则章动圆运动速度为  $2\pi \cdot r \cdot f_n$  通过光敏传感器产生的脉冲宽度为  $\tau = \frac{y}{2\pi \cdot r \cdot f_n} = \frac{y}{\pi x f_n}$ 。

由于  $f_n = f_D + f_T = 20 + 90 = 110 \text{ Hz}$ , 其中,  $f_D$  为弹体自转频率,  $f_T$  为陀螺转动频率。则  $\tau = \frac{0.1}{1.5 \cdot \pi \cdot 110} = 193 \mu\text{s}$ 。从而可知, 信号处理系统带宽约为  $\Delta f = \frac{1}{2\tau} = \frac{10^6}{2 \times 193} = 2592 \text{ Hz}$ 。

以上参量代入式(3)计算可得:

$$R = \left[ \frac{\pi \times 3.55 \times 0.18 \times 1.5 \times 10^{10} \times 0.5}{2(1 \times 10^{-3} \times 13.1 \times 10^{-3} \times 2.592 \times 10^3)^{1/2} 5} \right]^{1/2} (\tau_a \cdot J)^{1/2} = 0.904 \times 10^5 (\tau_a \cdot J)^{1/2} (\text{cm})$$

当迎头攻击目标时:  $J = J_A^{[1]} = J_{Y1}^{[1]} = 20.4 \text{ W/sr}$

由于羽流辐射在空气中的透过率较低, 取  $\tau_a = 0.2$ , 则:

$$R_A = 1.826 \times 10^5 \text{ cm} = 1.826 \text{ km}$$

当从正侧方攻击目标时:  $J = J_B = J_{M2} + J_{Y2}$ , 由于气动蒙皮热产生的辐射在空气中的透过率较羽流辐射高, 取  $\tau_a = 0.4$ , 则

$$(\tau_a \cdot J) = \tau_a (J_w + J_{Y3}) = 0.4 J_w + 0.2 J_{Y3}, R_B = 0.904 \times 10^5 \times 3.825 \text{ cm} = 3.457 \text{ km}$$

当从正后方攻击目标时:  $J = J_C = J_w + J_{Y3}$ , 由于尾喷管产生的辐射在空气中的透过率较羽流辐射高, 在 4~5 km 距离内, 仍取  $\tau_a = 0.4$ , 对羽流辐射, 取  $\tau_a = 0.2$ , 则

$$(\tau_a \cdot J) = \tau_a (J_w + J_{Y3}) = 0.4 J_w + 0.2 J_{Y3}, R_C = 0.904 \times 10^5 \times 5.017 \text{ cm} = 4.535 \text{ km}$$

当与巡航弹成任意角  $\alpha$  方向攻击目标时:

1) 当  $0 < \alpha < 90^\circ$  时

$$J = J_D = J_{M2} \cdot \sin \alpha + J_{Y1} \cdot \cos \alpha + J_{Y2} \cdot \sin \alpha = (J_{M2} + J_{Y2}) \sin \alpha + J_{Y1} \cdot \cos \alpha$$

$$(\tau_a \cdot J) = (0.4 \times J_{M2} + 0.2 \times J_{Y2}) \sin \alpha + 0.2 \times J_{Y1} \cdot \cos \alpha$$

$$R_D = 0.904 \times (14.628 \sin \alpha + 4.08 \cos \alpha)^{1/2} (\text{km}) \quad (6)$$

2) 当  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  时

$$J = J_D = J_{M2} \cdot \sin \alpha + J_{Y2} \cdot \sin \alpha + J_w \cdot (-\cos \alpha) + J_{Y3} \cdot (-\cos \alpha) =$$

$$(J_{M2} + J_{Y2}) \sin \alpha + (J_w + J_{Y3}) \cdot (-\cos \alpha)$$

$$(\tau_a \cdot J) = (0.4 \times J_{M2} + 0.2 \times J_{Y2}) \sin \alpha + (0.4 \times J_w + 0.2 \times J_{Y3}) \cdot (-\cos \alpha) =$$

$$14.628 \sin \alpha + 25.168 (-\cos \alpha)$$

$$R_D = 0.904 \times (14.628 \sin \alpha - 25.168 \cos \alpha)^{1/2} (\text{km}) \quad (7)$$

图2中曲线1为根据式(6)、(7)绘出的便携导弹对巡航导弹的探测区域图

## 2 便携导弹对巡航导弹的探测区域分析

原则上讲, 进入便携导弹的有效探测区域, 并且目标被瞄准在便携导弹的瞬时视场角内, 便携导弹既可锁定目标, 并对目标进行攻击。但在实际作战使用中, 还有几项因素影响便携导弹对目标的瞄准与锁定。

1) 目标视线角速度必须小于便携导弹导引头的最大跟踪角速度, 这一指标在超低空段反映在探测区域图2上是曲线2所包含的区域, 目标速度不同, 曲线2包含的区域大小不同, 对速度为  $250 \text{ m/s}$  的巡航导弹

来说,构成的目标视线角速度超速区域如曲线 2,对速度为 100 m/s 的飞机来说,构成的目标视线角速度超速区域如曲线 3 所示,在该区域内,便携导弹将不能对目标进行有效瞄准与锁定。

2)对目标进行攻击时,遭遇点应大于便携导弹的最小作战半径,否则便携导弹在飞行过程中并未从初始状态调整过来,难以在遭遇点击中目标。这就要求在攻击目标时,要把握好便携导弹的发射时机。例如,便携导弹的最小作战半径为 700 m,目标速度为 100 m/s,导弹速度为 700 m/s,便携导弹发射后到达最小作战半径的距离需要 1 s 的时间,目标在这个时间内飞行了 100 m,因此,为了击中目标,迎攻时至少应在大于 800 m 的距离上导弹出筒,尾追时至少应在大于 600 m 的距离上导弹出筒,因此,并非目标进入便携导弹的有效探测区域就构成了射击条件。

3)尾追攻击时,导弹发射后,应保证在有效射程内追上目标,如导弹的有效射程为  $R_0 = 5000$  m,  $V_d = 700$  m/s,目标速度  $V_m = 350$  m/s,尾追攻击时距离目标  $R_1$ ,为在有效射程内追上目标,应满足关系  $R_0/V_d < (R_0 - R_1)/V_m$ ,既:  $R_1 < R_0(1 - V_m/V_d)$ ,本例中,应满足在  $R_1 < R_0/2$  前发射,才能保证便携导弹在有效射程内追上目标。

#### 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):26-29.
- [2] 小哈得逊 R D. 红外系统原理[M]. 北京:国防工业出版社,1975.
- [3] 许建国. 地空导弹武器系统[M]. 北京:空军第五研究所,2001.

(编辑:田新华)

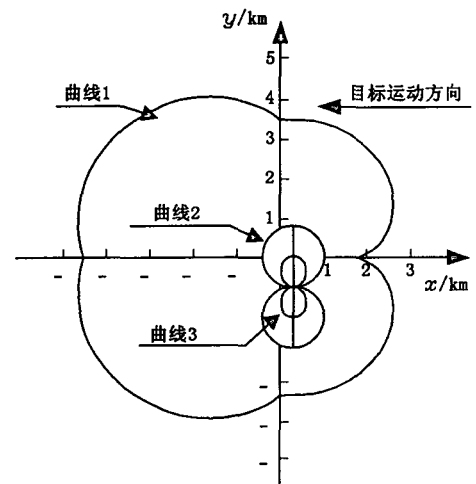


图2 探测区域分析图

## Research on the Detecting Distance of Portable Missile upon Cruise Missile

BAI Wei-xiong, WU Fa-weng

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

**Abstract:** The detective distance and the attacking distance of portable missile upon the cruise missile are analyzed and calculated according to the working principle of portable missile's guiding fusee and the radioactive characteristic of cruise missile. The calculation result is also presented.

**Key words:** portable missile; detective distance; cruise missile; low altitude defense

(上接第 21 页)

## Prediction of Frequency of Flight Mishap by Grey - Markov Model

GAN Xu-sheng, DUAN Mu Jing-shun, TIAN Jin-yuan

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710039, China)

**Abstract:** As frequency of flight mishap occurred has tendency and randomizing, this paper has adopted model GM (1,1) in combination with the forecasting techniques of Markov to prejudge the trend and conditions of the frequency of flight mishap. The prediction of annual flight mishap of world regular passenger transport scheduled flight shows that by using this grey - Markov model, the relative error of the prediction is smaller than the prediction error of the grey model.

**Key words:** grey model; GM (1,1); Markov chain; transfer probability; frequency of flight mishap