

导弹最佳炸点位置计算

李彦彬, 鲁卫红, 汤伟华

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:提出了给定弹目交会条件下计算导弹的最佳炸点位置的数学方法。模型适用于任意弹目交会情况,且适用于战斗部破片静态初速度任意分布情况。可应用于引战配合数字仿真研究,优化引信、战斗部参数。

关键词:最佳炸点;弹目交会;计算

中图分类号:E274.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)03-0053-03

为了提高地空导弹的单发毁伤概率,应设法提高引战配合效率^[1-2]。理想的引信,应该能够在最佳炸点引爆导弹战斗部,使战斗部破片飞散区中心对准目标要害中心,引战配合效率最大。实际的引信在设计时,应调整其参数如天线方向图倾角等,使其炸点尽量接近最佳炸点位置,提高引战配合效率。因此,在引信设计阶段,就应预先计算出给定弹目交会条件下的最佳炸点位置,以作为引信参数调整的参考依据。另外,在导弹战斗部设计过程中,为了使战斗部的某些参数如单枚破片质量参数选择最佳,亦常需要战斗部在最佳炸点爆炸(数字仿真形式)。

由于上述原因,本文提出给定弹目交会条件下计算导弹的最佳炸点位置的数学方法。供有关人员引战配合数字仿真研究参考使用。

1 最佳炸点计算

1.1 计算最佳炸点的步骤

- 1) 计算弹目交会过程中某时刻导弹战斗部中心在相对速度坐标系中的位置;
- 2) 计算相同时刻目标要害中心在导弹坐标系中的坐标;
- 3) 计算相同时刻目标要害中心在导弹战斗部破片飞散区中的位置,并判断战斗部破片飞散区中心是否对准目标要害中心。如果对准,则该时刻导弹战斗部中心所在位置为最佳炸点位置。

1.2 几个坐标系的定义

1) 目标坐标系 OX_1, Y_1, Z_1 : 坐标系原点设在目标几何中心或要害中心; OX_1 轴沿目标纵轴指向头部为正; OY_1 轴位于过 OX_1 轴的铅垂面内,向上为正; OZ_1 轴与 OX_1 、 OY_1 轴构成右手系。

2) 导弹坐标系 OX_m, Y_m, Z_m : 坐标系原点设在导弹战斗部中心; OX_m 轴沿导弹纵轴指向头部为正; OY_m 轴位于过 OX_m 轴的铅垂面内,向上为正; OZ_m 轴与 OX_m 、 OY_m 轴构成右手系。

3) 相对速度坐标系 OX_r, Y_r, Z_r : 坐标系原点与目标坐标系相同; OX_r 轴与弹目相对速度方向一致; OY_r 轴位于过 OX_r 轴的铅垂面内,向上为正; OZ_r 轴与 OX_r 、 OY_r 轴构成右手系。

4) 导弹速度坐标系 OX_{mv}, Y_{mv}, Z_{mv} : 坐标系原点与导弹坐标系相同; OX_{mv} 轴与导弹速度方向一致; OY_{mv} 轴位于过 OX_{mv} 轴的铅垂面内,向上为正; OZ_{mv} 轴与 OX_{mv} 、 OY_{mv} 轴构成右手系。

5) 目标速度坐标系 OX_v, Y_v, Z_v : 坐标系原点与目标坐标系相同; OX_v 轴与目标速度方向一致; OY_v 轴位于过 OX_v 轴的铅垂面内,向上为正; OZ_v 轴与 OX_v 、 OY_v 轴构成右手系。

1.3 计算某时刻导弹战斗部中心在相对速度坐标系中的坐标

导弹战斗部中心在相对速度坐标系中的坐标为

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{i0} - V_r t \\ \rho \cos \theta \\ \rho \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: x_{i0} 为初始时刻的 x_r 值; V_r 为弹目相对速度值; t 为时间变量; ρ 为脱靶量; θ 为脱靶方位。

1.4 计算相同时刻目标要害中心在导弹坐标系中的坐标

设目标要害中心在目标坐标系中的坐标为 (x_{i0}, y_{i0}, z_{i0}) , 则目标要害中心相对导弹战斗部中心的坐标在导弹坐标系中为

$$\begin{bmatrix} x_{m0} \\ y_{m0} \\ z_{m0} \end{bmatrix} = M_{r-m} \cdot \begin{bmatrix} -X_r \\ -Y_r \\ -Z_r \end{bmatrix} + M_{i-m} \cdot \begin{bmatrix} X_{i0} \\ Y_{i0} \\ Z_{i0} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: M_{i-m} 为相对速度坐标系到导弹坐标系的转换矩阵;

M_{r-m} 为目标坐标系到导弹坐标系的转换矩阵;

$$M_{r-m} = M_z[\alpha_m] \cdot M_y[\beta_m] \cdot M_y[-\beta] \cdot M_z[-\alpha] \cdot M_y[-\beta_i] \cdot M_z[-\alpha_i] \cdot M_y[-\varphi_r] \cdot M_z[-\theta_r] \quad (3)$$

$$M_{i-m} = M_z[\alpha_m] \cdot M_y[\beta_m] \cdot M_y[-\beta] \cdot M_z[-\alpha] \cdot M_y[-\beta_i] \cdot M_z[-\alpha_r] \quad (4)$$

式中:

α_m ——导弹速度矢量 V_m 在导弹坐标系 $OX_m Y_m$ 平面内的投影与轴 OX_m 的夹角;

β_m ——导弹速度矢量 V_m 与导弹坐标系 $OX_m Y_m$ 平面的夹角;

α ——导弹速度矢量 V_m 的负值在目标速度坐标系 $OX_v Y_v$ 平面内的投影与轴 OX_v 的夹角;

β ——导弹速度矢量 V_m 的负值与目标速度坐标系 $OX_v Y_v$ 平面的夹角;

α_i ——目标速度矢量 V_i 在目标坐标系 $OX_i Y_i$ 平面内的投影与轴 OX_i 的夹角;

β_i ——目标速度矢量 V_i 与目标坐标系 $OX_i Y_i$ 平面的夹角;

φ_r ——弹目相对速度矢量 V_r 在目标坐标系 $OX_i Y_i$ 平面内的投影与轴 OX_i 的夹角;

θ_r ——弹目相对速度矢量 V_r 与目标坐标系 $OZ_i X_i$ 平面的夹角。

以上参数用于确定弹目交会时弹目相对姿态,为预先给定的。

$M_A[F]$ 表示单角坐标旋转变换矩阵。“A”表示旋转轴,可为 x, y 或 z 。“F”表示旋转角度。

1.5 计算相同时刻目标要害中心在导弹战斗部破片飞散区中的位置

定义1 在地面上观察,导弹战斗部静态情况下爆炸后破片相对导弹炸点的分散区,称为“静态分散区”。

定义2 在目标上观察,导弹战斗部动态情况下爆炸后破片相对导弹炸点的分散区,称为“动态分散区”。

目标要害中心在导弹战斗部破片动态飞散区中的极坐标为

$$\begin{cases} r = \sqrt{x_{m0}^2 + y_{m0}^2 + z_{m0}^2} \\ \phi = \arccos(x_{m0}/r) \\ \omega = \arctan(z_{m0}/y_{m0}) \end{cases} \quad (5)$$

利用下列动态分散区与静态分散区对应关系方程组^[3],确定打击目标要害中心的破片来源于静态分散区的角度 φ :

$$\begin{cases} k_1 = v_{ym} \cos \omega + v_{zm} \sin \omega \\ k_2 = v_{zm} \cos \omega - v_{ym} \sin \omega \\ k_3 = v_{zm} - k_1 \operatorname{ctg} \phi \\ k_4 = k_3^2 - [v_0^2(\varphi) - k_2^2] \operatorname{ctg}^2 \phi \\ \varphi = \arccos \left[\frac{\sin \phi}{v_0^2(\varphi)} (-k_3 \sin \phi \pm \sqrt{k_3^2 \sin^2 \phi - k_4}) \right] \\ (\text{当 } \phi \leq \pi/2 \text{ 时,取“+”}) \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中 $v_0(\varphi)$ 为预先给定的战斗部破片静态初速度沿飞散方向角 φ 的分布函数。当 $v_0(\varphi)$ 近似为常数时,式(6)为一般方程组,可直接求解。若 $v_0(\varphi)$ 不能按常数对待,则式(6)为隐方程组,用计算机数值

方法求解。

式(6)中 v_{rxm} 、 v_{rym} 、 v_{rzx} 为 V_r 在导弹坐标系中的三个正交分量

$$\begin{bmatrix} v_{rxm} \\ v_{rym} \\ v_{rzx} \end{bmatrix} = M_{mv-m} \cdot \begin{bmatrix} v_m \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - M_{tv-m} \cdot \begin{bmatrix} v_t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(7)中 M_{mv-m} 为导弹速度坐标系到导弹坐标系的转换矩阵

$$M_{mv-m} = M_z[\alpha_m] \cdot M_y[\beta_m] \quad (8)$$

式(7)中 M_{tv-m} 为目标速度坐标系到导弹坐标系的转换矩阵

$$M_{tv-m} = M_z[\alpha_m] \cdot M_y[\beta_m] \cdot M_y[-\beta] M_z[-\alpha] \quad (9)$$

设导弹战斗部中央破片静态飞散方向角为 φ_c (通常为 90°)。将 φ_c 与式(6)的解 φ 比较,当 $\varphi = \varphi_c$ 时,战斗部破片飞散区中心对准目标要害中心,该时刻导弹战斗部中心所在位置为最佳炸点位置。

2 结论

本文所建立导弹最佳炸点位置计算模型适用于任意弹目交会情况,且适用于战斗部破片静态初速度沿飞散方向角 φ 任意分布情况。该模型可用于引战配合研究,优化引信、战斗部参数。该模型在某项科研中得以应用^[4],证明模型正确。

参考文献:

- [1] 李廷杰. 防空导弹武器系统射击效率[M]. 北京:航空学院出版社,1987年.
- [2] 马忠恕. 防空导弹非接触引信工作原理[M]. 北京:国防工业出版社,1982.
- [3] 鲁卫红,李彦彬. 战斗部破片动态飞散区的变换[J]. 空军工程大学学报,2001,2(5):68-72.
- [4] 鲁卫红. 反战术弹道式导弹(ATBM)武器系统引战配合研究[D]. 三原:空军工程大学导弹学院,1997.

(编辑:田新华)

Calculating the Optimum Explosion Position of Missile

LI Yan-bin, LU Wei-hong, TANG Wei-hua

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

Abstract: The mathematical method of calculating the optimum explosive position of missile is put forward on condition of the meeting of the given missile and target. The model is applied to the case of the meeting of the arbitrary missile and target, and also to the arbitrary distribution of the static muzzle velocity of warhead wreckage. So it can be used in the simulation study of the cooperation between the fuze and warhead of the missile, and the optimization of parameters of fuze and warhead.

Key words: optimum explosion position; meeting of the missile and the target; calculation.