

# 瞄准式战斗部最佳起爆方位研究\*

秦 帅<sup>1</sup>, 杨锁昌<sup>1</sup>, 孙 健<sup>1</sup>, 覃 欣<sup>2</sup>

(1 解放军军械工程学院, 石家庄 050003; 2 76321 部队, 广州 510500)

**摘要:**基于瞄准式战斗部的最佳起爆方位的研究实质上是对随动系统的方位和俯仰角的研究。主要研究了弹目交会参数对最佳起爆方位的影响,建立了瞄准式战斗部最佳起爆方位的计算模型。通过仿真计算了不同交会条件下俯仰角和方位角的变化趋势。研究表明,最佳起爆方位必须与弹目交会参数相匹配,才能提高引战配合效率。

**关键词:**最佳起爆方位;引战配合;瞄准式战斗部

**中图分类号:**TJ760.31 **文献标志码:**A

## A Study of Optimum Detonating Azimuth of Aimed Warhead

QIN Shuai<sup>1</sup>, YANG Suochang<sup>1</sup>, SUN Jian<sup>1</sup>, QIN Xin<sup>2</sup>

(1 Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2 No. 76321 Unit, Guangzhou 510500, China)

**Abstract:** The research on optimum detonating azimuth based on aimed warhead is actually the research on servo position and pitching angles. The influence of encounter parameters on optimal detonation position was researched, and the simulation calculation of optimal detonation position of aimed warhead was established. The trend of pitching angles and azimuth angles was introduced eventually through simulating different encounter conditions. The study shows that the optimum detonating azimuth must match the encounter parameters so as to improve the efficiency of fuse warhead coordination.

**Keywords:** optimum detonating azimuth; fuse warhead coordination; aimed warhead

### 0 引言

防空导弹在增强战斗部杀伤威力方面的技术手段较多,但在实际运用中,并不能充分利用战斗部破片或能量,有效的提高对目标的毁伤能力。瞄准式战斗部是一种利用制导系统或目标探测器提供的目标方位信息,对战斗部轴线的俯仰或方位角进行实时控制,使战斗部破片飞散方向始终对准目标方向的定向定角战斗部。通过调整战斗部对准方向,使目标一直处于破片飞散区域内。因此,这种定向定角战斗部可以节省大量破片,且不降低其对目标的毁伤能力。

### 1 模型解析

瞄准式战斗部最佳起爆方位的研究实际上就是对随动系统的方位和俯仰的研究。在不同弹目交会条件下,计算随动系统的方位角和俯仰角。

#### 1.1 弹目交会参数

为方便研究起爆方位,弹目交会模型需要建立在

相对速度坐标系和导弹弹体坐标系,其定义可参考文献[1]。图1为弹目交会示意图。

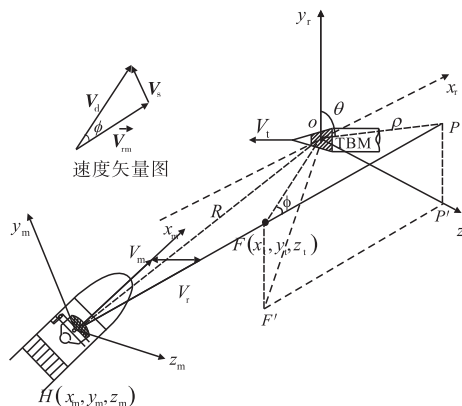


图1 弹目交会示意图

图中: $\rho$ 为脱靶量; $\theta$ 为脱靶方位; $P$ 点为相对运动轨迹与脱靶平面 $y_r o z_r$ 的交点。 $R$ 为弹目距离; $F$ 点表示战斗部起爆点,此时随动系统将战斗部转动到最佳位置,即战斗部的方位角 $\alpha_d$ 和俯仰角 $\vartheta_d$ ; $H$ 点表示弹目交会时导弹相对于目标所处的位置; $HF$ 是引引起爆延时 $\tau$ 内目标相对于导弹飞行的距离; $V_m$ 、 $V_t$ 分别为

\* 收稿日期:2012-03-28

基金项目:军队科研计划项目资助

作者简介:秦帅(1987-),男,湖南长沙人,硕士研究生,研究方向:军用自动测试系统。

导弹和目标的速度。

## 1.2 最佳起爆方位的计算模型

瞄准式战斗部的最佳起爆方位可以借助随动系统调节控制战斗部的对准方位,实时瞄准目标,使战斗部破片飞散群的中心命中目标要害中心。如图 1 所示, $oF$  为战斗部破片的飞散轨迹,由引信的最佳起爆延时可以计算  $F$  点的坐标为:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m - V_r \cdot \tau \\ \rho \cos \theta \\ \rho \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $x_i, y_i, z_i$  表示相对速度坐标系内  $F$  点的坐标分量; $V_r$  为弹目相对速度; $\tau$  为起爆延时时间。

破片动态飞散速度矢量的方向向量为  $\mathbf{Fo} = (-x_i, -y_i, -z_i)^T$ , 弹目相对速度的方向向量为  $V_r = (V_r, 0, 0)^T$ , 将其转换至弹体坐标系, 可得:

$$\begin{bmatrix} x_{mt} \\ y_{mt} \\ z_{mt} \end{bmatrix} = \mathbf{E} \begin{bmatrix} -x_i \\ -y_i \\ -z_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} V_{rmx} \\ V_{rmy} \\ V_{rmz} \end{bmatrix} = \mathbf{E} \begin{bmatrix} V_r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $x_{mt}, y_{mt}, z_{mt}$  表示破片动态速度的方向向量在弹体坐标系内的坐标分量; $V_{rmx}, V_{rmy}, V_{rmz}$  表示相对速度矢量在弹体坐标系中的分量; $\mathbf{E}$  表示相对速度坐标系到弹体坐标系的转换矩阵<sup>[1]</sup>。

由破片动态速度矢量的方向向量和相对速度矢量的方向向量,可求得其夹角  $\phi$  为:

$$\cos \phi = \frac{x_{mt} \cdot V_{rmx} + y_{mt} \cdot V_{rmy} + z_{mt} \cdot V_{rmz}}{\sqrt{x_{mt}^2 + y_{mt}^2 + z_{mt}^2} \cdot \sqrt{V_{rmx}^2 + V_{rmy}^2 + V_{rmz}^2}} \quad (4)$$

破片的动态飞散速度矢量  $V_d$  是相对速度  $V_r$  和破片初速  $V_s$  的合成。因此,在速度矢量图中,破片的动态飞散速度  $V_d$  和相对速度  $V_{rm}$  的夹角  $\phi$  为:

$$\cos \phi = \frac{V_d^2 + V_{rm}^2 - V_s^2}{2 \cdot V_d \cdot V_{rm}} \quad (5)$$

式中  $V_s$  为破片的初始速度。

联立方程(4)和(5)可求得破片动态飞散速度标量  $V_d$  为:

$$V_d = V_{rm} \cos \phi + \sqrt{V_s^2 - \sin^2 \phi \cdot V_{rm}^2} \quad (6)$$

因此,可求得破片动态飞散速度矢量为:

$$\mathbf{V}_d = \begin{bmatrix} V_{dmx} \\ V_{dmy} \\ V_{dmz} \end{bmatrix} = \frac{V_d}{\sqrt{x_{mt}^2 + y_{mt}^2 + z_{mt}^2}} \begin{bmatrix} x_{mt} \\ y_{mt} \\ z_{mt} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, $V_{dmx}, V_{dmy}, V_{dmz}$  表示破片动态速度在弹体坐标系内的分量。

则破片飞散初始速度矢量  $V_s$  为:

$$\begin{bmatrix} V_s \cos \alpha_d \cos \vartheta_d \\ V_s \sin \vartheta_d \\ V_s \sin \alpha_d \cos \vartheta_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{dmx} - V_{rmx} \\ V_{dmy} - V_{rmy} \\ V_{dmz} - V_{rmz} \end{bmatrix} \quad (8)$$

因此,随动系统的方位角  $\alpha_d$  和俯仰角  $\vartheta_d$  的计算公式为:

$$\vartheta_d = \arcsin \left( \frac{V_{dmy} - V_{rmy}}{V_s} \right) \quad (9)$$

$$\alpha_d = \arctan \left( \frac{V_{dmz} - V_{rmz}}{V_{dmx} - V_{rmx}} \right) \quad (10)$$

## 1.3 约束条件

在确定战斗部的最佳起爆方位时,必须考虑众多复杂的因素。对于论证阶段的工程项目,可简化一些权重较小的因素。在此,考虑以下几个约束条件:

- 1) 随动系统俯仰和方位角小于  $90^\circ$ ;
- 2) 飞至目标要害的破片场密度不小于  $5$  块  $/\text{m}^2$ ;
- 3) 碰撞速度不小于碰撞弹道极限<sup>[2]</sup>;
- 4) 目标要害进入破片动态杀伤区即引爆战斗部;
- 5) 对目标的毁伤概率最大。

## 2 仿真分析

文中主要分析脱靶量  $\rho$ 、脱靶方位  $\theta$  和弹目距离对瞄准式战斗部最佳起爆方位的影响。弹目交会参数如下:导弹速度  $V_m = (628.3, 33.3, 217.2)$ , 目标速度  $V_t = (-201.6, 0, -152.9)$ , 破片数  $N = 800$ , 破片初速  $V_f = 2000 \text{m/s}$ 。仿真结果如下:

### 1) 脱靶方位对起爆方位角的影响

破片静态飞散  $\varphi = 10^\circ$ , 脱靶量分别为  $5 \text{m}$ 、 $10 \text{m}$  和  $15 \text{m}$ , 脱靶方位从  $0^\circ \sim 90^\circ$  变化时,起爆方位的变化趋势如图 2 所示。

从图中可以看出:方位角的变化受脱靶方位的影响大于俯仰角的变化;不同脱靶量条件下的俯仰角差别较大,但其变化趋势相似。由于为了使破片动态飞散至目标,因此,在脱靶方位为  $0^\circ$  时,战斗部的俯仰角和方位角不可能为  $90^\circ$  和  $0^\circ$ 。

### 2) 脱靶量对起爆方位角的影响

脱靶方位分别为  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $60^\circ$ , 脱靶量从  $5 \sim 15 \text{m}$  变化时,起爆方位的变化趋势如图 3 所示。从图中可以看出:俯仰角的变化受脱靶量的影响大于方位

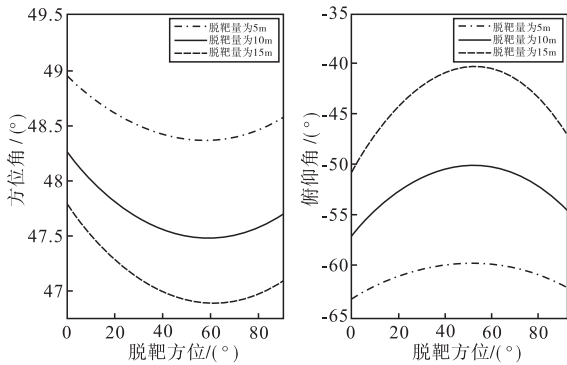


图2 起爆方位与脱靶方位之间的关系

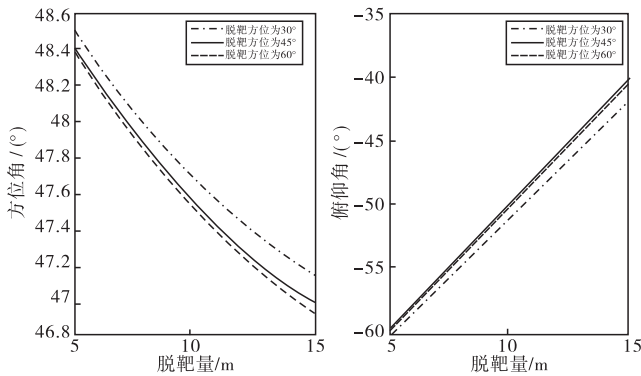


图3 起爆方位与脱靶量之间的关系

角变化;因为脱靶方位不变,只增加脱靶量,因此,俯仰角变化趋势近似直线变化。

3) 飞散角对起爆方位角的影响

破片静态飞散角从5°到30°变化,分别讨论不同脱靶方位和脱靶量条件下,起爆方位的变化趋势。如图4所示。

从图中可以看出:破片飞散角的变化对随动系统俯仰角和方位角影响体现在起爆点的位置上,破片飞散角越小,其杀伤距离越远。由于起爆点设置在目标要害进入战斗部破片动态杀伤区即引爆战斗部,因此,飞散角越小,起爆点位置就越远。

3 结束语

最佳起爆方位是引战配合技术中的重要内容,也是影响引战配合效率的重要因素,是瞄准式战斗部对目标毁伤效能的重要参数。只有起爆方位调整至最

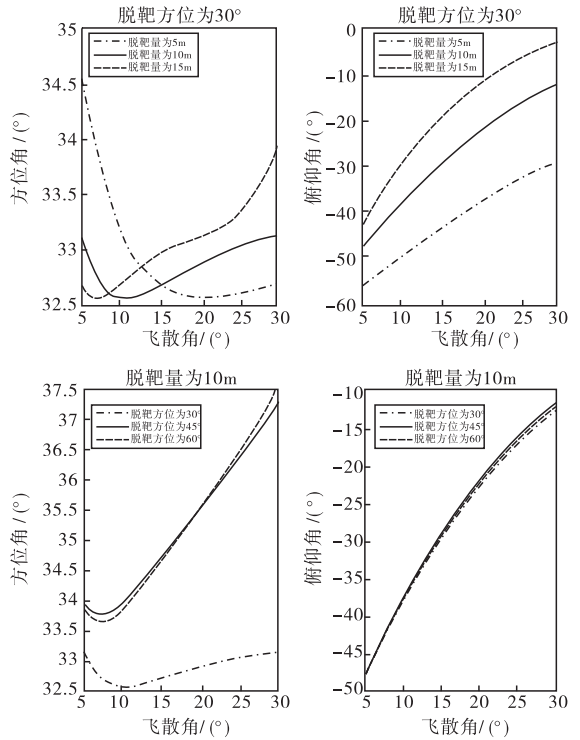


图4 起爆方位与飞散角之间的关系

佳,破片才能有效的摧毁目标。文中建立了基于瞄准式战斗部的最佳起爆方位模型,通过仿真分析了脱靶量、脱靶方位和破片飞散角对最佳起爆方位的影响。为该项目的后续研究论证提供了理论支撑。

参考文献:

[1] 张志鸿,周申生. 防空导弹引信与战斗部配合效率和战斗部设计[M]. 北京:中国宇航出版社,2009.

[2] Richard M. Lloyd. Conventional warhead systems physics and engineering design [M]. AIAA, Inc, 1998.

[3] 朱景伟,谭惠民,樊印海. 求解定向战斗部最佳起爆延时时间和起爆方位的一种方法[J]. 宇航学报,2003,24(2):198-201.

[4] 兰志,杨亚东,韩玉. 起爆方式对偏心式定向战斗部破片速度分布的影响研究[J]. 弹箭与制导学报,2010,30(3):159-161.

[5] 蒋静群,简金蕾,张晓. 制导信息协同下的最佳起爆控制分析与研究[J]. 现代防御技术,2009,37(3):19-25.