



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108920743 A

(43)申请公布日 2018. 11. 30

(21)申请号 201810457327.X

(22)申请日 2018.05.14

(71)申请人 西安工业大学

地址 710021 陕西省西安市未央区学府中路2号

(72)发明人 李翰山 桑晓月

(74)专利代理机构 北京商专永信知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11400

代理人 方挺 郭玥

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006.01)

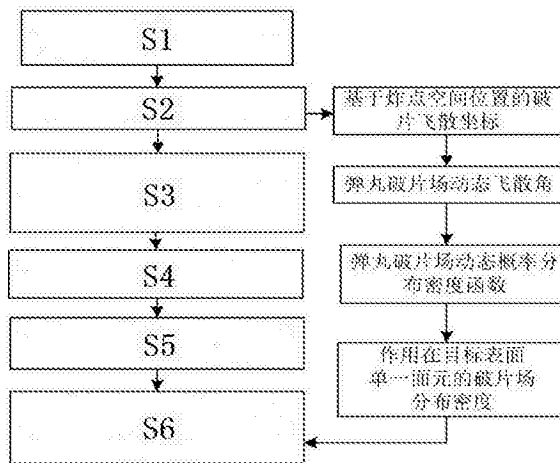
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法

(57)摘要

本发明提供一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其包括;获得弹丸炸点图像的平面二维位置坐标和空间三维位置坐标;建立坐标系,确定基于弹丸炸点位置的弹目交会的方向角和俯仰角;获得弹目交会的方向角和俯仰角在各个坐标系的表达式,通过改变脱靶量和脱靶方位,获得随着跟随时刻改变的多个弹目交会姿态;获得基于弹丸炸点空间位置的弹目交会时空关联模型;获得破片场对目标的毁伤概率。本发明基于空间炸点的位置,给出比较形象的空间炸点位置的目标毁伤计算方法,为新型目标毁伤计算提供科学依据。



1. 一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其包括以下步骤:

步骤1,获得弹丸炸点图像的平面二维位置坐标;

步骤2,获得弹丸炸点图像的空间三维位置坐标;

步骤3,建立地面坐标系、弹体坐标系、目标坐标系、弹体与目标相对速度坐标系,确定基于弹丸炸点位置的弹目交会的方向角和俯仰角;

步骤4,利用转换矩阵,获得弹目交会的方向角和俯仰角在各个坐标系的表达式,通过改变脱靶量和脱靶方位,获得随着跟随时刻改变的多个弹目交会姿态;

步骤5,基于弹目交会初始时刻炸点的姿态和弹目交会最终时刻目标的姿态,获得基于弹丸炸点空间位置的弹目交会时空关联模型;

步骤6,根据弹丸炸点的空间位置参数,结合炸后破片场的运动参数,获得破片场对目标的毁伤概率。

2. 根据权利要求1所述的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其附加技术特征在于,在所述步骤3中,地面坐标系用来确定战斗部即弹丸和目标的各种弹道参数,地面坐标系具体用 $Ox_GY_GZ_G$ 来表示,原点设在战斗部发射点, $Ox_G$ 轴与在战斗部发射时的目标飞行水平航向平等并取其反方向为正, $OY_G$ 轴垂直向上, $OZ_G$ 轴与 $Ox_G$ , $OY_G$ 轴构成右手坐标系;目标坐标系 $Ox_tY_tZ_t$ 的原点设在目标的几何中心, $Ox_t$ 轴沿目标纵轴向前, $OY_t$ 轴到在目标对称平面内,向上为正, $OZ_t$ 轴构成右手坐标系;弹体坐标系 $Ox_mY_mZ_m$ 的原点设在战斗部中心, $Ox_m$ 轴沿弹丸纵轴向前为正, $OY_m$ 轴取在对称平面内,向上为正, $OZ_m$ 轴构成右手坐标系;相对速度坐标系 $Ox_rY_rZ_r$ 用于描述弹丸相对目标的脱靶量及脱靶方位,引信启动参数和战斗部动态杀伤参数,其中,坐标原点取在目标中心, $Ox_r$ 轴与弹丸和目标的相对速度矢量 $v_r$ 平行,以 $v_r$ 的正方向为正, $OY_r$ 轴取在垂直平面内, $OZ_r$ 轴取在水平面内;其中,弹丸相对于目标的弹目交汇的方向角 $\varphi$ 是目标纵轴 $Ox_t$ 与弹目相对速度 $V_r$ 相反方向的夹角,其中,当 $\varphi=0^\circ$ 时代表正面攻击,弹丸与目标迎面相遇;当 $\varphi=90^\circ$ 时代表侧向攻击;当 $\varphi=180^\circ$ 时,弹丸对目标尾随追击;对于俯仰角而言,当俯仰角 $\theta>0$ 时代表弹丸相对于从下往上攻击,当 $\theta<0$ 时代表弹丸相对于从上往下攻击。

3. 根据权利要求1所述的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其附加技术特征在于,所述步骤4具体包括以下步骤:

a. 设 $M_x[\gamma]$ 表示绕X轴旋转 $\gamma$ 角, $M_y[\delta]$ 表示绕Y轴旋转 $\delta$ 角, $M_z[x]$ 表示绕Z轴旋转 $x$ 角,则通过转换矩阵,可以将弹体或目标的任意姿态在上述的四个坐标系下转换;

b. 定义弹丸相对飞行速度矢量与相对动态毁伤轴所确定的平面,称为该次弹目交会过程中弹药的毁伤平面,给出毁伤面在地面坐标系中的法向量,可得弹目交会姿态角在地面坐标系中进行表述为 $\varphi_{mt}$ :

$$\varphi_{mt} = \arcsin \frac{e_{mt}(x_g) \cdot n_d(x_g) + e_{mt}(y_g) \cdot n_d(y_g) + e_{mt}(z_g) \cdot n_d(z_g)}{\sqrt{n_d^2(x_g) + n_d^2(y_g) + n_d^2(z_g)}} ;$$

其中 $e_{mt}(x_g)$ ,  $e_{mt}(y_g)$  和  $e_{mt}(z_g)$  为弹目交会方向角在地面坐标系三个坐标轴方向分量的单位矢量;在地面坐标系中, $n_d(x_g)$ ,  $n_d(y_g)$  和  $n_d(z_g)$  为破片场作用于目标的毁伤面法向量;

将弹体坐标系中的弹目视线单位矢量转化到相对速度坐标系中,从而可得弹目交会姿

态角在相对速度坐标系中表述为 $\varphi_{mt}(r)$ :

$$\varphi_{mt}(r) = \arcsin \frac{e_{mt}(y_r) \cdot n_d(y_r) + e_{mt}(z_r) \cdot n_d(z_r)}{\sqrt{n_d^2(y_r) + n_d^2(z_r)}} ;$$

在相对速度坐标系中, $e_{mt}(y_r)$ 和 $e_{mt}(z_r)$ 为弹目交会方向角在相对速度坐标系三个坐标轴方向分量的单位矢量; $n_d(y_r)$ 和 $n_d(z_r)$ 为破片场作用于目标的毁伤面法向量;

c. 设 $(x_m, y_m, z_m)$ 为弹丸在地面坐标系中的空间坐标, $(x_t, y_t, z_t)$ 为目标在地面坐标系中的空间坐标,获得经过任意目标点 $(x_t, y_t, z_t)$ 且沿相对速度矢量方向的直线方程,并求出脱靶量 $\rho$ 为:

$$\rho = \frac{|\{x_t - x_m, y_t - y_m, z_t - z_m\} \times \{m, n, p\}|}{\sqrt{m^2 + n^2 + p^2}} ;$$

经过任意目标点 $(x_t, y_t, z_t)$ 和相对速度矢量可以确定一条直线方程, $s = \{m, n, p\}$ 为直线的方向矢量;

当给定脱靶量和脱靶方位角度,通过改变脱靶量和脱靶方位角度,可以得到多条与初始弹道平行,但是具有不同脱靶量和脱靶方位的平行弹道。

4. 根据权利要求1所述的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其附加技术特征在于,所述步骤5包括以下步骤:

a. 令 $t_0=0$ 作为弹目交会过程的初始时刻,此时弹丸与目标在地面坐标系中的位置分别为 $x_m^0$ 和 $x_t^0$ ;

b.  $\theta_m$ 和 $\varphi_m$ 为 $t_1$ 时刻即战斗部起爆时刻弹体所具有的姿态角度,弹丸飞行速度 $v_m$ 在地面坐标系中的分量为:

$$\begin{cases} v_{mx} = v_m \cos \theta_m \cos \varphi_m \\ v_{my} = v_m \sin \theta_m \\ v_{mz} = -v_m \cos \theta_m \sin \varphi_m \end{cases} ;$$

其中 $v_{mx}$ , $v_{my}$ 和 $v_{mz}$ 为弹丸飞行速度在地面坐标系中的分量;

c. 在 $t_1$ 至 $t_2$ 的时间段内,目标继续以 $v_t$ 运动,则 $t_2$ 时刻破片群命中目标的坐标 $(x_d(t_2), y_d(t_2), z_d(t_2))$ 为:

$$\begin{bmatrix} x_d(t_2) \\ y_d(t_2) \\ z_d(t_2) \end{bmatrix} = v_m t_1 + v_m t_2 + \frac{t_2 v_{ds}}{M_x(\gamma_{m1}) M_y(\varphi_{m1}) M_z(\theta_{m1})} ;$$

$M_x[\gamma_{m1}]$ 为关于x轴旋转 $\gamma_{m1}$ 角的变换矩阵, $M_y[\varphi_{m1}]$ 为关于y轴旋转 $\varphi_{m1}$ 角变换矩阵, $M_z[\theta_{m1}]$ 为关于z轴旋转 $\theta_{m1}$ 角的为变换矩阵; $v_{ds}$ 为 $t_2$ 时刻破片群的速度;

d. 给出基于空间炸点位置的弹目交会时空关联模型:

$$v_m t_1 + v_m t_2 + \frac{t_2 v_{ds}}{M_x(\gamma_{m1}) M_y(\varphi_{m1}) M_z(\theta_{m1})} = v_t(t_1 + t_2) ;$$

其中,所述模型描述弹体、破片群和目标在地面坐标系中的运动情况,包括弹目交会初始时刻的弹体和目标位置、弹体和目标飞行速度大小和方向、毁伤元静爆速度及飞散方向、

起爆时刻弹体姿态。

5. 根据权利要求1所述的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其附加技术特征在于,所述步骤6包括以下步骤:

a. 弹丸在爆炸瞬间,其碎片获得较高的初速度,并以一定的角度撞击目标,依靠动能对目标造成毁伤,空间破片场的表述可以用破片平均飞散角 $\Phi$ 来描述, $\Phi = (\Phi_1 + \Phi_2) / 2$ ;其中,碎片均匀分布在 $\Phi_1$ 和 $\Phi_2$ 所包围的锥环中,动态飞散角度 $\Phi_{vr}$ 表示为:

$$\Phi_{vr} = \arctan \frac{v_{f1} \sin \Phi_r}{v_{m0} + v_{f1} \sin \Phi_r} ;$$

静爆条件下, $\Phi_r$ 为破片的飞散角, $v_{f0}$ 为破片初速度;动爆状态下, $\Phi_{vr}$ 为动态飞散角度,产生的破片场初速 $v_{m0}$ ,破片动态飞散速度 $v_{f1}$ ;

动态条件下,第 $r$ 枚破片的概率分布密度函数 $f(\Phi_{vr})$ 为:

$$f(\Phi_{vr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{vr}} e^{-\frac{(\Phi_{vr} - \bar{\Phi}_{vr})^2}{2\sigma_{vr}^2}} ;$$

其中,动态条件下,破片场飞散角的均方根差和数学期望分别为 $\sigma_{vr}$ 和 $\bar{\Phi}_{vr}$ ;

b. 由于根据多传感器测试技术获得了炸点位置坐标 $(x_b, y_b, z_b)$ ,设一组服从均匀分布离散随机数为 $(\xi_1, \xi_2)$ , $R$ 为炸点与目标之间的距离,则第 $i$ 枚碎片的飞散坐标 $(x_i, y_i, z_i)$ 可由下式确定:

$$\begin{cases} x_i = x_b + R \xi_1 \cos(2\pi \xi_2) \\ y_i = y_b + R \xi_1 \sin(2\pi \xi_2) \\ z_i = z_b + R \xi_1 \tan(2\pi \xi_2) \end{cases} ;$$

根据上文的破片动态概率分布密度函数 $f(\Phi_{vr})$ 和弹丸破片动态飞散角 $\Phi_{vr}$ ,则作用在目标单一三角形面元的分布密度 $\rho(\Phi_{vr})$ 为:

$$\rho(\Phi_{vr}) = \frac{N}{2\pi R^2 \sin \Phi_{vr}} f(\Phi_{vr}) = \frac{N \cdot e^{-\frac{(\Phi_{vr} - E(\Phi_{vr}))^2}{2\sigma(\Phi_{vr})^2}}}{(2\pi)^{3/2} \sigma(\Phi_{vr}) [(x_i^2 + y_i^2) - (x_0^2 + y_0^2)] \sin \Phi_{vr}} ;$$

其中, $(x_i, y_i)$ 为基于弹丸炸点空间位置的破片初始坐标, $(x_0, y_0)$ 为破片在目标某个易损舱段某个三角形面元上的作用点坐标;

c. 根据目标易损性舱段,定义 $\beta_i$ 为目标易损系数,单一三角形面元弹丸破片对目标面元贡献的毁伤面积 $S_d$ ,第 $i$ 个易损舱段的面积为 $S_i$ ,目标微小面元为 $S_k$ ,用 $Q$ 来表征破片对目标的毁伤概率, $\varphi_{\beta}$ 为破片落到目标三角形面元的着角,则计算公式如下:

$$Q = \beta_i \cdot \frac{S_d}{S_i} = \beta_i \cdot \frac{N^2 \pi R^2 \cos \varphi_{\beta} \cdot e^{-\frac{(\Phi_{vr} - E(\Phi_{vr}))^2}{2\sigma(\Phi_{vr})^2}}}{S_k \cdot (2\pi)^{3/2} \sigma(\Phi_{vr}) [(x_i^2 - y_i^2) - (x_0^2 - y_0^2)] \sin \Phi_{vr}} .$$

6. 根据权利要求1所述的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其附加技术特征在于,在所述步骤1中利用多传感器交汇测试技术。

7. 根据权利要求1所述的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其附加技术特征在于,在所述步骤2中利用图像处理技术和多传感器空间交汇几何关系。

## 一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光电测试技术领域,尤其涉及一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法。

### 背景技术

[0002] 弹丸引信对弹丸目标毁伤的研究是当前敌我战略与攻防战备的重要环节,由于弹丸近炸引信的炸点与目标交汇的相对空间位置有密切关联,即弹丸近炸作用效能取决于弹丸与目标两者之间的空间相对位置,在有效的空间范围内起爆才可能产生对目标的毁伤效能,而弹丸引信作用是由其内部机理获取目标反射能量而启动引爆控制机制来完成的,相对被击毁目标可以构成对抗毁伤的关系,因此,弹丸近炸对目标的毁伤效能,可以映射到弹丸近炸作用位置与目标毁伤两者之间对抗博弈关联体制。为了进一步的掌握目标毁伤评估技术手段,更需要密切的关注引信炸点位置参数和对目标毁伤的效能,而炸点的位置参数对目标的毁伤有决定性的作用。由于炸点的分布是随机的、高速的,并且具有不确定性,使得现有测试方法和计算方法无法满足当前的弹丸引信炸点对目标毁伤效能的客观评估。

### 发明内容

[0003] 本发明提供一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,用以解决现有技术中存在的技术问题。

[0004] 本发明一方面提供一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法,其包括以下步骤:

[0005] 步骤1,获得弹丸炸点图像的平面二维位置坐标;

[0006] 步骤2,获得弹丸炸点图像的空间三维位置坐标;

[0007] 步骤3,建立地面坐标系、弹体坐标系、目标坐标系、弹体与目标相对速度坐标系,确定基于弹丸炸点位置的弹目交会的方向角和俯仰角;

[0008] 步骤4,利用转换矩阵,获得弹目交会的方向角和俯仰角在各个坐标系的表达式,通过改变脱靶量和脱靶方位,获得随着跟随时刻改变的多个弹目交会姿态;

[0009] 步骤5,基于弹目交会初始时刻炸点的姿态和弹目交会最终时刻目标的姿态,获得基于弹丸炸点空间位置的弹目交会时空关联模型;

[0010] 步骤6,根据弹丸炸点的空间位置参数,结合炸后破片场的运动参数,获得破片场对目标的毁伤概率。

[0011] 优选地,在所述步骤3中,地面坐标系用来确定战斗部即弹丸和目标的各种弹道参数,地面坐标系具体用 $Ox_GY_GZ_G$ 来表示,原点设在战斗部发射点, $Ox_G$ 轴与在战斗部发射时的目标飞行水平航向平等并取其反方向为正, $Oy_G$ 轴垂直向上, $Oz_G$ 轴与 $Ox_G$ 、 $Oy_G$ 轴构成右手坐标系;目标坐标系 $Ox_tY_tZ_t$ 的原点设在目标的几何中心, $Ox_t$ 轴沿目标纵轴向前, $Oy_t$ 轴到在目标对称平面内,向上为正, $Oz_t$ 轴构成右手坐标系;弹体坐标系 $Ox_mY_mZ_m$ 的原点设在战斗部中心, $Ox_m$ 轴沿弹丸纵轴向前为正, $Oy_m$ 轴取在对称平面内,向上为正, $Oz_m$ 轴构成右手坐标系;相

对速度坐标系 $Ox_r Y_r Z_r$ 用于描述弹丸相对目标的脱靶量及脱靶方位,引信启动参数和战斗部动态杀伤参数,其中,坐标原点取在目标中心, $Ox_r$ 轴与弹丸和目标的相对速度矢量 $v_r$ 平行,以 $v_r$ 的正方向为正, $Oy_r$ 轴取在垂直平面内, $Oz_r$ 轴取在水平面内;其中,弹丸相对于目标的弹目交汇的方向角 $\varphi$ 是目标纵轴 $Ox_t$ 与弹目相对速度 $V_r$ 相反方向的夹角,其中,当 $\varphi=0^\circ$ 时代表正面攻击,弹丸与目标迎面相遇;当 $\varphi=90^\circ$ 时代表侧向攻击;当 $\varphi=180^\circ$ 时,弹丸对目标尾随追击;对于俯仰角 $\theta$ 而言,当俯仰角 $\theta>0$ 时代表弹丸相对于从下往上攻击,当 $\theta<0$ 时代表弹丸相对于从上往下攻击。

[0012] 优选地,所述步骤4具体包括以下步骤:

[0013] a. 设 $M_x[\gamma]$ 表示绕X轴旋转 $\gamma$ 角, $M_y[\delta]$ 表示绕Y轴旋转 $\delta$ 角, $M_z[x]$ 表示绕Z轴旋转 $x$ 角,则通过转换矩阵,可以将弹体或目标的任意姿态在上述的四个坐标系下转换;

[0014] b. 定义弹丸相对飞行速度矢量与相对动态毁伤轴所确定的平面,称为该次弹目交会过程中弹药的毁伤平面,给出毁伤面在地面坐标系中的法向量,可得弹目交会姿态角在地面坐标系中进行表述为 $\varphi_{mt}$ :

$$[0015] \quad \varphi_{mt} = \arcsin \frac{e_{mt}(x_g) \cdot n_d(x_g) + e_{mt}(y_g) \cdot n_d(y_g) + e_{mt}(z_g) \cdot n_d(z_g)}{\sqrt{n_d^2(x_g) + n_d^2(y_g) + n_d^2(z_g)}} \quad ;$$

[0016] 其中 $e_{mt}(x_g)$ ,  $e_{mt}(y_g)$  和 $e_{mt}(z_g)$  为弹目交会方向角在地面坐标系三个坐标轴方向分量的单位矢量;在地面坐标系中, $n_d(x_g)$ ,  $n_d(y_g)$  和 $n_d(z_g)$  为破片场作用于目标的毁伤面法向量;

[0017] 将弹体坐标系中的弹目视线单位矢量转化到相对速度坐标系中,从而可得弹目交会姿态角在相对速度坐标系中表述为 $\varphi_{mt}(r)$ :

$$[0018] \quad \varphi_{mt}(r) = \arcsin \frac{e_{mt}(y_r) \cdot n_d(y_r) + e_{mt}(z_r) \cdot n_d(z_r)}{\sqrt{n_d^2(y_r) + n_d^2(z_r)}} \quad ;$$

[0019] 在相对速度坐标系中, $e_{mt}(y_r)$  和 $e_{mt}(z_r)$  为弹目交会方向角在相对速度坐标系三个坐标轴方向分量的单位矢量; $n_d(y_r)$  和 $n_d(z_r)$  为破片场作用于目标的毁伤面法向量;

[0020] c. 设 $(x_m, y_m, z_m)$  为弹丸在地面坐标系中的空间坐标, $(x_t, y_t, z_t)$  为目标在地面坐标系中的空间坐标,获得经过任意目标点 $(x_t, y_t, z_t)$  且沿相对速度矢量方向的直线方程,并求出脱靶量 $\rho$ 为:

$$[0021] \quad \rho = \frac{\{(x_t - x_m, y_t - y_m, z_t - z_m)\} \times \{m, n, p\}}{\sqrt{m^2 + n^2 + p^2}} \quad ;$$

[0022] 经过任意目标点 $(x_t, y_t, z_t)$  和相对速度矢量可以确定一条直线方程, $s = \{m, n, p\}$  为直线的方向矢量;

[0023] 当给定脱靶量和脱靶方位角度,通过改变脱靶量和脱靶方位角度,可以得到多条与初始弹道平行,但是具有不同脱靶量和脱靶方位的平行弹道。

[0024] 优选地,所述步骤5包括以下步骤:

[0025] a. 令 $t_0=0$ 作为弹目交会过程的初始时刻,此时弹丸与目标在地面坐标系中的位置分别为 $x_m^0$  和 $x_t^0$ ;

[0026] b.  $\theta_m$ 和 $\varphi_m$ 为 $t_1$ 时刻即战斗部起爆时刻弹体所具有的姿态角度,弹丸飞行速度 $v_m$ 在地面坐标系中的分量为:

$$[0027] \quad \begin{cases} v_{mx} = v_m \cos \theta_m \cos \varphi_m \\ v_{my} = v_m \sin \theta_m \\ v_{mz} = -v_m \cos \theta_m \sin \varphi_m \end{cases} ;$$

[0028] 其中 $v_{mx}$ , $v_{my}$ 和 $v_{mz}$ 为弹丸飞行速度在地面坐标系中的分量;

[0029] c. 在 $t_1$ 至 $t_2$ 的时间段内,目标继续以 $v_t$ 运动,则 $t_2$ 时刻破片群命中目标的坐标 $(x_d(t_2), y_d(t_2), z_d(t_2))$ 为:

$$[0030] \quad \begin{bmatrix} x_d(t_2) \\ y_d(t_2) \\ z_d(t_2) \end{bmatrix} = v_m t_1 + v_m t_2 + \frac{t_2 v_{ds}}{M_x(\gamma_{m1}) M_y(\varphi_{m1}) M_z(\theta_{m1})} ;$$

[0031] d. 给出基于空间炸点位置的弹目交会时空关联模型:

$$[0032] \quad v_m t_1 + v_m t_2 + \frac{t_2 v_{ds}}{M_x(\gamma_{m1}) M_y(\varphi_{m1}) M_z(\theta_{m1})} = v_t (t_1 + t_2) ;$$

[0033]  $M_x[\gamma_{m1}]$ 为关于x轴旋转 $\gamma_{m1}$ 角的变换矩阵, $M_y[\varphi_{m1}]$ 为关于y轴旋转 $\varphi_{m1}$ 角变换矩阵, $M_z[\theta_{m1}]$ 为关于z轴旋转 $\theta_{m1}$ 角的为变换矩阵; $v_{ds}$ 为 $t_2$ 时刻破片群的速度;

[0034] 其中,所述模型描述弹体、破片群和目标在地面坐标系中的运动情况,包括弹目交会初始时刻的弹体和目标位置、弹体和目标飞行速度大小和方向、毁伤元静爆速度及飞散方向、起爆时刻弹体姿态。

[0035] 优选地,所述步骤6包括以下步骤:

[0036] a. 弹丸在爆炸瞬间,其碎片获得较高的初速度,并以一定的角度撞击目标,依靠动能对目标造成毁伤,空间破片场的表述可以用破片平均飞散角 $\Phi$ 来描述, $\Phi = (\Phi_1 + \Phi_2) / 2$ 。其中,碎片均匀分布在 $\Phi_1$ 和 $\Phi_2$ 所包围的锥环中,动态飞散角度 $\Phi_{vr}$ 表示为:

$$[0037] \quad \Phi_{vr} = \arctan \frac{v_{f1} \sin \Phi_r}{v_{m0} + v_{f1} \sin \Phi_r} ;$$

[0038] 静爆条件下, $\Phi_r$ 为破片的飞散角, $v_{f0}$ 为破片初速度;动爆状态下, $\Phi_{vr}$ 为动态飞散角度,产生的破片场初速 $v_{m0}$ ,破片动态飞散速度 $v_{f1}$ ;

[0039] 动态条件下,第 $r$ 枚破片的概率分布密度函数 $f(\Phi_{vr})$ 为:

$$[0040] \quad f(\Phi_{vr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{vr}} e^{-\frac{(\Phi_{vr} - \bar{\Phi}_{vr})^2}{2\sigma_{vr}^2}} ;$$

[0041] 其中,动态条件下,破片场飞散角的均方根差和数学期望分别为 $\sigma_{vr}$ 和 $\bar{\Phi}_{vr}$ ;

[0042] b. 由于根据多传感器测试技术获得了炸点位置坐标 $(x_b, y_b, z_b)$ ,设一组服从均匀分布离散随机数为 $(\xi_1, \xi_2)$ , $R$ 为炸点与目标之间的距离,则第 $i$ 枚碎片的飞散坐标 $(x_i, y_i, z_i)$ 可由下式确定:

$$[0043] \quad \begin{cases} x_i = x_b + R\xi_1 \cos(2\pi\xi_2) \\ y_i = y_b + R\xi_1 \sin(2\pi\xi_2) \\ z_i = z_b + R\xi_1 \tan(2\pi\xi_2) \end{cases} ;$$

[0044] 根据上文的破片动态概率分布密度函数 $f(\Phi_{vr})$ 和弹丸破片动态飞散角 $\Phi_{vr}$ ,则作用在目标单一三角形面元的分布密度 $\rho(\Phi_{vr})$ 为:

$$[0045] \quad \rho(\Phi_{vr}) = \frac{N}{2\pi R^2 \sin \Phi_{vr}} f(\Phi_{vr}) = \frac{N \cdot e^{-\frac{(\Phi_{vr} - E(\Phi_{vr}))^2}{2\sigma(\Phi_{vr})^2}}}{(2\pi)^{3/2} \sigma(\Phi_{vr}) [(x_i^2 + y_i^2) - (x_0^2 + y_0^2)] \sin \Phi_{vr}} ;$$

[0046] 其中,  $(x_i, y_i)$  为基于弹丸炸点空间位置的破片初始坐标,  $(x_0, y_0)$  为破片在目标某个易损舱段某个三角形面元上的作用点坐标;

[0047] c. 根据目标易损性舱段, 定义 $\beta_i$ 为目标易损系数, 单一三角形面元弹丸破片对目标面元贡献的毁伤面积 $S_d$ , 第 $i$ 个易损舱段的面积为 $S_i$ , 目标微小面元为 $S_k$ , 用 $Q$ 来表征破片对目标的毁伤概率,  $\varphi_{\beta}$ 为破片落到目标三角形面元的着角, 则计算公式如下:

$$[0048] \quad Q = \beta_i \cdot \frac{S_d}{S_i} = \beta_i \cdot \frac{N^2 \pi^2 \cos \varphi_{\beta} \cdot e^{-\frac{(\Phi_{vr} - E(\Phi_{vr}))^2}{2\sigma(\Phi_{vr})^2}}}{S_k \cdot (2\pi)^{3/2} \sigma(\Phi_{vr}) [(x_i^2 - y_i^2) - (x_0^2 - y_0^2)] \sin \Phi_{vr}} .$$

[0049] 优选地, 在所述步骤1中利用多传感器交汇测试技术。

[0050] 优选地, 在所述步骤2中利用图像处理技术和多传感器空间交汇几何关系。

[0051] 本发明利用了弹丸近炸空间位置与被毁目标相对位置的一种关联性, 建立目标毁伤计算方法。利用多传感器测试技术获得弹丸炸点图像的空间三维坐标; 建立地面坐标系、弹体坐标系、目标坐标系、弹体与目标相对速度坐标系, 给出基于弹丸炸点位置的弹目交会方向角和俯仰角; 利用转换矩阵, 给出弹目交会方向角和俯仰角在各个坐标系的表示, 改变脱靶量和脱靶方位, 给出多个弹目交会姿态和基于弹丸炸点空间位置的弹目交会时空关联模型; 最后, 根据弹丸炸点的空间位置参数, 结合炸后破片场的运动参数, 给出破片场对目标的毁伤概率计算方法。本发明基于空间炸点的位置, 给出比较形象的空间炸点位置的目标毁伤计算方法, 为新型目标毁伤计算提供科学依据。

## 附图说明

[0052] 图1是本发明涉及的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法的流程图;

[0053] 图2是本发明涉及的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法的坐标示意图;

[0054] 图3是本发明涉及的基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法的坐标示意图。

## 具体实施方式

[0055] 本实施例涉及一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法, 该基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法主要根据炸点位置对目标的损伤进行评估。

[0056] 本实施例所涉及的一种基于炸点空间位置的目标毁伤计算方法, 如图1所示, 其包括以下步骤:

[0057] 步骤1 (S1), 利用多传感器交汇测试技术, 获得弹丸炸点图像的平面二维位置坐



标,其中,多传感器交汇测试技术可利用现有技术中的方法,在此不再赘述;

[0058] 步骤2(S2),利用图像处理技术和多传感器空间交汇的几何关系,获得弹丸炸点图像的空间三维位置坐标,其中,图像处理技术可利用现有技术中的方法,在此不再赘述;

[0059] 步骤3(S3),建立地面坐标系、弹体坐标系、目标坐标系、弹体与目标相对速度坐标系,确定基于弹丸炸点位置的弹目交汇的方向角和俯仰角;

[0060] 其中,如图2所示,图2示出了其中的地面坐标系、目标坐标系和弹体坐标系,地面坐标系用来确定战斗部即弹丸和目标的各各种弹道参数,地面坐标系具体用 $Ox_GY_GZ_G$ 来表示,原点设在战斗部发射点, $Ox_G$ 轴与在战斗部发射时的目标飞行水平航向平等并取其反方向为正, $Oy_G$ 轴垂直向上, $Oz_G$ 轴与 $Ox_G$ 、 $Oy_G$ 轴构成右手坐标系;目标坐标系 $Ox_tY_tZ_t$ 的原点设在目标的几何中心, $Ox_t$ 轴沿目标纵轴向前, $Oy_t$ 轴到在目标对称平面内,向上为正, $Oz_t$ 轴构成右手坐标系;弹体坐标系 $Ox_mY_mZ_m$ 的原点设在战斗部中心, $Ox_m$ 轴沿弹丸纵轴向前为正, $Oy_m$ 轴取在对称平面内,向上为正, $Oz_m$ 轴构成右手坐标系;此外,相对速度坐标系 $Ox_rY_rZ_r$ 是引战配合研究中采用的特有坐标系,如图3所示,相对速度坐标系用于描述弹丸相对目标的脱靶量及脱靶方位,引信启动参数和战斗部动态杀伤参数,其中,坐标原点常取在目标中心, $Ox_r$ 轴与弹丸和目标的相对速度矢量 $v_r$ 平行,以 $v_r$ 的正方向为正, $Oy_r$ 轴取在垂直平面内, $Oz_r$ 轴取在水平面内。

[0061] 需要说明的是,弹丸相对于目标的接近角 $\varphi$ 是目标纵轴 $Ox_t$ 与弹目相对速度 $V_r$ 相反方向的夹角,用来描述弹丸相对于目标的来向,这一参数也可以称作弹目交汇的方向角,其中,当 $\varphi=0^\circ$ 时代表正面攻击,弹丸与目标迎面相遇;当 $\varphi=90^\circ$ 时代表侧向攻击;当 $\varphi=180^\circ$ 时,弹丸对目标尾随追击;对于俯仰角 $\theta$ 而言,当俯仰角 $\theta>0$ 时代表弹丸相对于从下往上攻击,当 $\theta<0$ 时代表弹丸相对于从上往下攻击;

[0062] 步骤4(S4),利用转换矩阵,获得弹目交汇的方向角和俯仰角在各个坐标系的表达式,通过改变脱靶量和脱靶方位,获得随着跟随时刻改变的多个弹目交汇姿态;

[0063] 其中,所述的步骤4具体按照以下步骤实施:

[0064] a. 设 $M_x[\gamma]$ 表示绕X轴旋转 $\gamma$ 角, $M_y[\delta]$ 表示绕Y轴旋转 $\delta$ 角, $M_z[x]$ 表示绕Z轴旋转 $x$ 角,则通过转换矩阵,可以将弹体或目标的任意姿态在上述的四个坐标系下转换;

[0065] b. 定义弹丸相对飞行速度矢量与相对动态毁伤轴所确定的平面,称为该次弹目交会过程中弹药的毁伤平面,给出毁伤面在地面坐标系中的法向量,可得弹目交汇姿态角在地面坐标系中表述为 $\varphi_{mt}$ :

$$[0066] \quad \varphi_{mt} = \arcsin \frac{e_{mt}(x_g) \cdot n_d(x_g) + e_{mt}(y_g) \cdot n_d(y_g) + e_{mt}(z_g) \cdot n_d(z_g)}{\sqrt{n_d^2(x_g) + n_d^2(y_g) + n_d^2(z_g)}} \quad (1)$$

[0067] 其中 $e_{mt}(x_g)$ 、 $e_{mt}(y_g)$ 和 $e_{mt}(z_g)$ 为弹目交汇方向角在地面坐标系三个坐标轴方向分量的单位矢量。在地面坐标系中, $n_d(x_g)$ 、 $n_d(y_g)$ 和 $n_d(z_g)$ 为破片场作用于目标的毁伤面法向量。

[0068] 将弹体坐标系中的弹目视线单位矢量转化到相对速度坐标系中,从而可得弹目交汇姿态角在相对速度坐标系中表述为 $\varphi_{mt}(r)$ :

$$[0069] \quad \varphi_m(r) = \arcsin \frac{e_{mt}(y_r) \cdot n_d(y_r) + e_{mt}(z_r) \cdot n_d(z_r)}{\sqrt{n_d^2(y_r) + n_d^2(z_r)}} \quad (2)$$

[0070] 在相对速度坐标系中,  $e_{mt}(y_r)$  和  $e_{mt}(z_r)$  为弹目交会方向角在相对速度坐标系三个坐标轴方向分量的单位矢量;  $n_d(y_r)$  和  $n_d(z_r)$  为破片场作用于目标的毁伤面法向量。

[0071] c. 设  $(x_m, y_m, z_m)$  为弹丸在地面坐标系中的空间坐标,  $(x_t, y_t, z_t)$  为目标在地面坐标系中的空间坐标, 获得经过任意目标点  $(x_t, y_t, z_t)$  且沿相对速度矢量方向的直线方程, 并求出脱靶量  $\rho$  为:

$$[0072] \quad \rho = \frac{\| \{x_t - x_m, y_t - y_m, z_t - z_m\} \times \{m, n, p\} \|}{\sqrt{m^2 + n^2 + p^2}} \quad (3)$$

[0073] 经过任意目标点  $(x_t, y_t, z_t)$  和相对速度矢量可以确定一条直线方程,  $s = \{m, n, p\}$  为直线的方向矢量。

[0074] 当给定脱靶量和脱靶方位角度, 通过改变脱靶量和脱靶方位角度, 可以得到多条与初始弹道平行, 但是具有不同脱靶量和脱靶方位的平行弹道;

[0075] 步骤5 (S5), 基于弹目交会初始时刻炸点的姿态和弹目交会最终时刻目标的姿态, 获得基于弹丸炸点空间位置的弹目交会时空关联模型;

[0076] 其中, 所述的步骤5具体按照以下步骤实施:

[0077] a. 令  $t_0 = 0$  作为弹目交会过程的初始时刻, 此时弹丸与目标在地面坐标系中的位置分别为  $x_m^0$  和  $x_t^0$ ;

[0078] b.  $\theta_m$  和  $\varphi_m$  为  $t_1$  时刻即战斗部起爆时刻弹体所具有的姿态角度, 弹丸飞行速度  $v_m$  在地面坐标系中的分量为:

$$[0079] \quad \begin{cases} v_{mx} = v_m \cos \theta_m \cos \varphi_m \\ v_{my} = v_m \sin \theta_m \\ v_{mz} = -v_m \cos \theta_m \sin \varphi_m \end{cases} \quad (4)$$

[0080] 其中  $v_{mx}$ ,  $v_{my}$  和  $v_{mz}$  为弹丸飞行速度在地面坐标系中的分量。

[0081] c. 在  $t_1$  至  $t_2$  的时间段内, 目标继续以  $v_t$  运动, 则  $t_2$  时刻破片群命中目标的坐标  $(x_d(t_2), y_d(t_2), z_d(t_2))$  为:

$$[0082] \quad \begin{bmatrix} x_d(t_2) \\ y_d(t_2) \\ z_d(t_2) \end{bmatrix} = v_m t_1 + v_m t_2 + \frac{t_2 v_{ds}}{M_x(\gamma_{m1}) M_y(\varphi_{m1}) M_z(\theta_{m1})} \quad (5)$$

[0083]  $M_x[\gamma_{m1}]$  为关于 x 轴旋转  $\gamma_{m1}$  角的变换矩阵,  $M_y[\varphi_{m1}]$  为关于 y 轴旋转  $\varphi_{m1}$  角变换矩阵,  $M_z[\theta_{m1}]$  为关于 z 轴旋转  $\theta_{m1}$  角的为变换矩阵;  $v_{ds}$  为  $t_2$  时刻破片群的速度。

[0084] d. 综上, 给出基于空间炸点位置的弹目交会时空关联模型, 如下所示:

$$[0085] \quad v_m t_1 + v_m t_2 + \frac{t_2 v_{ds}}{M_x(\gamma_{m1}) M_y(\varphi_{m1}) M_z(\theta_{m1})} = v_t(t_1 + t_2) \quad (6)$$

[0086] 此模型描述弹体、破片群和目标在地面坐标系中的运动情况, 包括弹目交会初始时刻的弹体和目标位置、弹体和目标飞行速度大小和方向、毁伤元静爆速度及飞散方向、起

爆时刻弹体姿态等；

[0087] 步骤6 (S6)，根据弹丸炸点的空间位置参数，结合炸后破片场的运动参数，获得破片场对目标的毁伤概率；

[0088] 其中，所述的步骤6的计算方式具体按照以下步骤实施：

[0089] a. 弹丸在爆炸瞬间，其碎片获得较高的初速度，并以一定的角度撞击目标，依靠能对目标造成毁伤，空间破片场的表述可以用破片平均飞散角 $\Phi$ 来描述， $\Phi = (\Phi_1 + \Phi_2) / 2$ 。其中，碎片均匀分布在 $\Phi_1$ 和 $\Phi_2$ 所包围的锥环中，动态飞散角度 $\Phi_{vr}$ 表示为：

$$[0090] \quad \Phi_{vr} = \arctan \frac{v_{f1} \sin \Phi_r}{v_{m0} + v_{f1} \sin \Phi_r} \quad (7)$$

[0091] 静爆条件下， $\Phi_r$ 为破片的飞散角， $v_{f0}$ 为破片初速度。动爆状态下， $\Phi_{vr}$ 为动态飞散角度，产生的破片场初速 $v_{m0}$ ，破片动态飞散速度 $v_{f1}$ 。

[0092] 动态条件下，第 $r$ 枚破片的概率分布密度函数 $f(\Phi_{vr})$ 为：

$$[0093] \quad f(\Phi_{vr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{vr}} e^{-\frac{(\Phi_{vr} - \bar{\Phi}_{vr})^2}{2\sigma_{vr}^2}} \quad (8)$$

[0094] 其中，动态条件下，破片场飞散角的均方根差和数学期望分别为 $\sigma_{vr}$ 和 $\bar{\Phi}_{vr}$ 。

[0095] b. 由于根据多传感器测试技术获得了炸点位置坐标 $(x_b, y_b, z_b)$ ，设一组服从均匀分布离散随机数为 $(\xi_1, \xi_2)$ ， $R$ 为炸点与目标之间的距离，则第 $i$ 枚碎片的飞散坐标 $(x_i, y_i, z_i)$ 可由下式确定：

$$[0096] \quad \begin{cases} x_i = x_b + R\xi_1 \cos(2\pi\xi_2) \\ y_i = y_b + R\xi_1 \sin(2\pi\xi_2) \\ z_i = z_b + R\xi_1 \tan(2\pi\xi_2) \end{cases} \quad (9)$$

[0097] 根据上文的破片动态概率分布密度函数 $f(\Phi_{vr})$ 和弹丸破片动态飞散角 $\Phi_{vr}$ ，则作用在目标单一三角形面元的分布密度 $\rho(\Phi_{vr})$ 为：

$$[0098] \quad \rho(\Phi_{vr}) = \frac{N}{2\pi R^2 \sin \Phi_{vr}} f(\Phi_{vr}) = \frac{N \cdot e^{-\frac{(\Phi_{vr} - E(\Phi_{vr}))^2}{2\sigma(\Phi_{vr})^2}}}{(2\pi)^{3/2} \sigma(\Phi_{vr}) [(x_i^2 + y_i^2) - (x_0^2 + y_0^2)] \sin \Phi_{vr}} \quad (10)$$

[0099] 其中， $(x_i, y_i)$ 为基于弹丸炸点空间位置的破片初始坐标， $(x_0, y_0)$ 为破片在目标某个易损舱段某个三角形面元上的作用点坐标。

[0100] c. 根据目标易损性舱段，定义 $\beta_i$ 为目标易损系数，单一三角形面元弹丸破片对目标面元贡献的毁伤面积 $S_d$ ，第 $i$ 个易损舱段的面积为 $S_i$ ，目标微小面元为 $S_k$ ，用 $Q$ 来表征破片对目标的毁伤概率， $\varphi_{\beta}$ 为破片落到目标三角形面元的着角，则计算公式如下：

$$[0101] \quad Q = \beta_i \cdot \frac{S_d}{S_i} = \beta_i \cdot \frac{N^2 \pi^2 \cos \varphi_{\beta} \cdot e^{-\frac{(\Phi_{vr} - E(\Phi_{vr}))^2}{2\sigma(\Phi_{vr})^2}}}{S_k \cdot (2\pi)^{3/2} \sigma(\Phi_{vr}) [(x_i^2 - y_i^2) - (x_0^2 - y_0^2)] \sin \Phi_{vr}} \quad (11)$$

[0102] 显然，本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

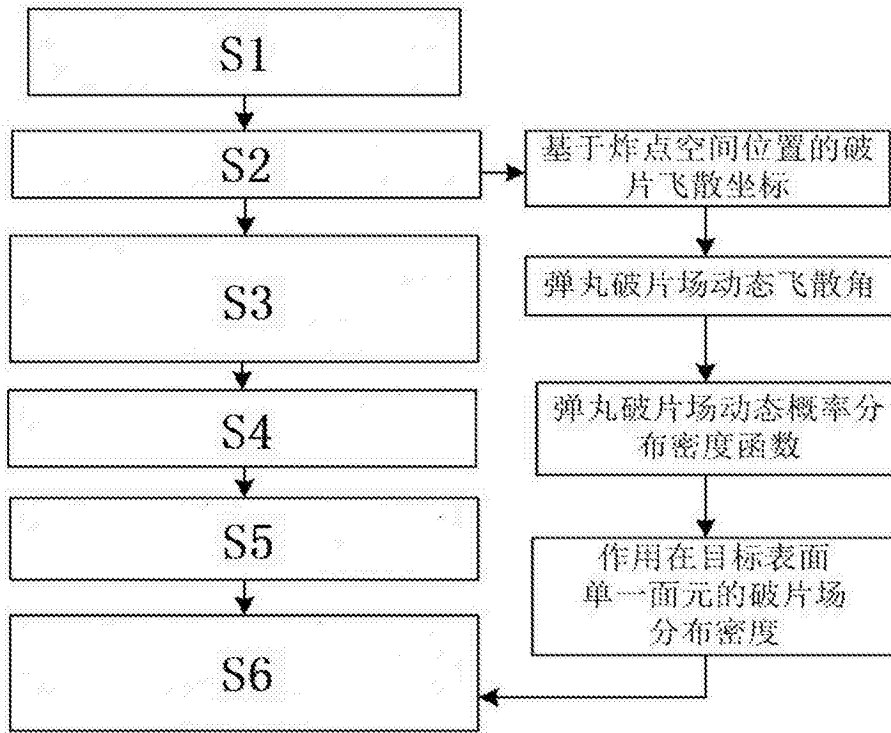


图1

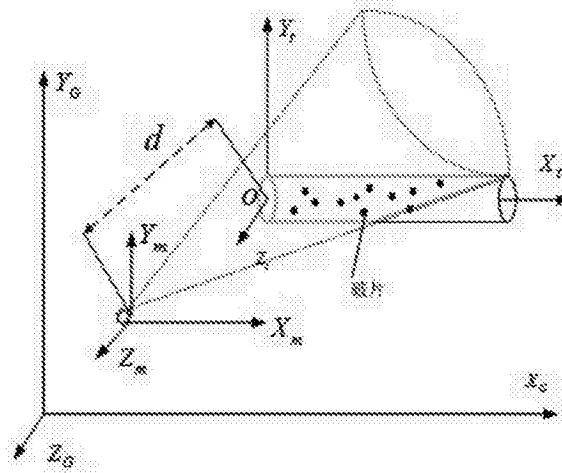


图2

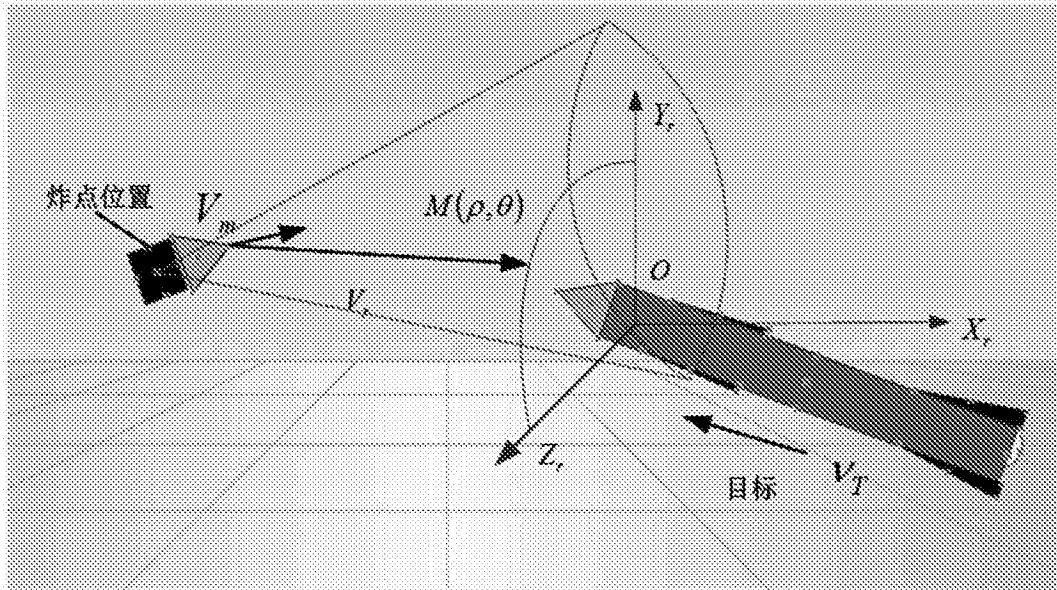


图3