

·测试、试验与仿真·

面源红外诱饵仿真建模方法研究

赵非玉, 卢山, 蒋冲, 马春孝

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:分析了典型面源红外诱饵的组成,总结了面源红外诱饵与点源红外诱饵在结构组成和光谱特性方面的差异。通过理论推导,研究了面源红外诱饵的运动特性和三维模型建模方法,基于VC软件实现了面源红外诱饵的运动学仿真,利用OpenGL技术实现了面源红外诱饵三维模型和动态红外图像生成,仿真结果验证了面源红外诱饵的干扰特性。

关键词:面源红外诱饵;仿真模型;三维模型

中图分类号:TN972[·]1

文献标识码:A

文章编号:1673-1255-(2012)02-0066-04

Research on the Modeling Method of Surface-type Infrared Decoy

ZHAO Fei-yu, LU Shan, JIANG Chong, MA Chun-xiao

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The composition of the typical surface-type infrared decoy is analyzed, and the difference of the composition and spectral properties between the surface-type infrared decoy and the point-type infrared decoy is summarized. The motion property and the modeling method of 3D model for the surface-type infrared decoy are derived and studied. The kinematic simulation of the surface-type infrared decoy is realized by using the software based on VC, the 3D model and dynamic infrared image of the surface-type infrared decoy are generated by using OpenGL technology. The jamming characteristic of the surface-type infrared decoy is verified by the simulation result.

Key words: surface-type infrared decoy; simulation model; 3D model

随着红外制导技术的发展,美欧等已经装备了新型的面源红外诱饵,其结构组成和光谱特性与传统的点源红外诱饵都有显著差异^[1]。目前在研究红外诱饵的干扰特性时,一般都是通过仿真的方法进行,要研究新型面源红外诱饵的干扰特性,就需要建立面源红外诱饵的仿真模型,以仿真面源红外诱饵的运动特性以及空间分布特性,希望最终能够生成面源诱饵的动态红外图像^[2]。

美国典型的面源红外诱饵型号为MJU-50/51两种,MJU-50的外形尺寸为1×1×8英寸;而MJU-51的外形尺寸为1×2×8英寸^[3]。

1 面源红外诱饵组成分析

传统的点源红外诱饵和新型的面源红外诱饵一般都是长方体或者圆柱体形状,外形尺寸一般也相同,以便于从标准的发射器中进行发射。

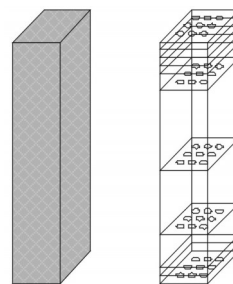


图1 点源红外诱饵与面源红外诱饵结构

收稿日期:2012-03-13

作者简介:赵非玉(1977-),男,辽宁兴城人,高级工程师,研究方向为含能材料与应用;卢山(1988-),男,辽宁营口市人,助理工程师,研究方向为光电工程与应用。

二者的差异主要体现在两方面。一是其结构组成形式不同。如图1所示,对于传统的点源红外诱饵,是将红外诱饵剂压制为长方体结构,构成一个整体,投射出去以后,红外诱饵剂会从外向内逐渐燃烧;而面源红外诱饵是由上千个发火箔片装填而成,每个箔片上有很多孔,便于自燃,投射出去以后,大量箔片会在空间散开,从而覆盖更大的面积,构成面源红外诱饵。二者的另一个差异,是其辐射光谱的差异。传统的点源红外诱饵其辐射光谱不仅覆盖红外波段,而且覆盖可见光波段,其燃烧时还会产生大量可见的烟雾;而面源红外诱饵弹抛撒形成箔片云团,是一种遇氧发热的红外辐射面源,它能模拟载机的光谱特性和运动特性,具有可见光掩蔽特性^[4]。

2 面源红外诱饵仿真建模方法

面源红外诱饵仿真模型主要应用于对抗仿真,在对抗过程中,告警系统探测到来袭导弹后,发射面源红外诱饵,抛撒形成的箔片云团能对红外成像导引头实施有效的光电干扰^[5]。因此仿真的关键是能够建立面源红外诱饵的运动模型以及在辐射过程中的三维辐射模型,以便于红外导引头从不同距离、不同方位观察面源红外诱饵。

2.1 红外诱饵运动特性建模方法

面源红外诱饵投射出去以后上千个箔片会在空中散开,无论是针对每个箔片,还是针对整个诱饵弹,都难以建立准确的运动学方程。因此,采用基于点源诱饵运动模型的修正方法建立面源红外诱饵的运动模型。

首先说明点源红外诱饵运动建模方法,主要是根据诱饵的受力情况,并综合考虑载机位置和速度,诱饵弹投射速度等因素,建立诱饵弹运动的微分方程组,对红外诱饵弹的运动特性进行求解^[6]。设诱饵弹所受的阻力为 f ,阻力在 x, y, z 方向上的分量分别为 f_x, f_y, f_z 。诱饵的运动速度为 V_D ,运动速度在 x, y, z 方向上的分量分别为 V_{Dx}, V_{Dy}, V_{Dz} 。诱饵的位置为 (X_D, Y_D, Z_D) 。

诱饵所受阻力及其分量之间的关系可以表示如下

$$\begin{cases} f = \rho V_D^2 SK_d / 2 \\ f_x = f \cos \theta \cdot \cos \psi \\ f_y = f \sin \theta \\ f_z = -f \cos \theta \cdot \sin \psi \end{cases} \quad (1)$$

诱饵受力运动方程为

$$\begin{cases} \dot{V}_{Dx} = -f_x / m \\ \dot{V}_{Dy} = -(f_y + mg) / m (\text{向上运动}) \\ \dot{V}_{Dy} = -(f_y - mg) / m (\text{向下运动}) \\ \dot{V}_{Dz} = -f_z / m \end{cases} \quad (2)$$

诱饵位置与速度的关系为

$$\begin{cases} \dot{X}_D = V_{Dx} = V_D \cos \theta \cos \psi \\ \dot{Y}_D = V_{Dy} = V_D \sin \theta \\ \dot{Z}_D = V_{Dz} = -V_D \cos \theta \sin \psi \end{cases} \quad (3)$$

红外诱饵质量变化关系为

$$\dot{m} = M_c \quad (4)$$

其中, K_d 为空气阻力系数; ρ 为大气密度; S 为参考面积; θ 表示诱饵运动的倾角; ψ 表示诱饵运动的偏角; M_c 为诱饵燃烧过程中的质量变化率。诱饵燃烧过程的面积变化如图2所示。

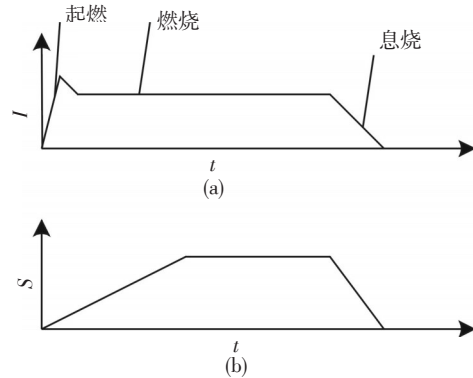


图2 诱饵燃烧过程的面积变化

对于面源红外诱饵而言,可以认为其与点源红外诱饵的最大差异是参考面积不同。因此可以通过对参考面积 S 的修正,实现对面源红外诱饵的运动仿真。面源红外诱饵在投射出去以后逐渐散开,因此其参考面积处于变换过程中。计算面源红外诱饵运动特性时需要根据诱饵燃烧过程给出一组参考面积 S 随时间 t 变化的数据 $S(t)$ 。根据诱饵的燃烧过程,如图2a所示,诱饵燃烧分为起燃,燃烧和息燃的过程。在这一过程中,可以认为面源红外诱饵弹从起燃开始散开,随着燃烧和运动的进行,逐渐散开到一定程度稳定下来,最后随着诱饵燃烧完,其参考面积在此下降,如图2b所示。这样设定的诱饵参考面积变化可能不够合理,最佳方式是能够根据实测数据对拟合一组 $S(t)$ 。

通过上述方法可以计算出点源诱饵弹和面源红外诱饵弹的运动轨迹。下面介绍如果生产该位置上的红外诱饵图像。

2.2 红外诱饵的三维模型建模方法

在生成红外诱饵的图像时,为了便于生成导引头在不同视角、不同距离时观察到的红外诱饵图像,需要建立红外诱饵的三维模型。一旦建立红外诱饵的三维模型,就可以通过 OpenGL 技术的模型变换、投影变换方便地实现在不同距离、不同方位、不同视角下对面源红外诱饵的观察。

目前为了达到更好的视觉效果,一般是利用粒子系统建立各种燃烧模型,如火焰效果就是通过粒子系统实现的^[7]。如果利用粒子系统建立面源红外诱饵三维模型,粒子运动的计算问题难以解决。粒子系统中,需要针对每个粒子求解其运动方程,如果其运动方程简单,求解所需时间较少,需要求解复杂的微分方程组才能得到粒子的运动轨迹,可能导致运算量大增,大大影响仿真系统的性能,故提出利用随机粒子系统建立红外诱饵的三维模型。

利用随机粒子系统建立红外诱饵三维模型的基本思路是,首先求解一次微分方程组,解出面源红外诱饵在某一时刻的空间位置,然后在该位置周围,按照红外诱饵的辐射分布特征生成大量随机粒子,利用这些随机粒子表示红外诱饵的三维分布。相比常规粒子系统的思路,该方法针对某一时刻,只需要求解一次微分方程组,而常规的粒子系统方法,需要针对每个粒子求解一次微分方程组。

另外为了在不影响生成图像效果的情况下,进一步减少粒子数。还根据红外诱饵燃烧的特点对红外诱饵的三维模型进行了改进。没有在三维空间内全部采用随机粒子模型,而是将随机粒子模型和静态模型相结合,生成红外诱饵三维分布。

面源红外诱饵的三维空间分布可以看做是二次曲线绕 y 轴旋转构成的,因此 y 轴与 z 轴相等,形状类似橄榄球,截面示意图如图 3 所示。

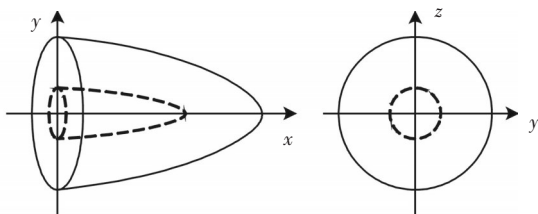


图3 面源红外诱饵模型截面示意图

为了便于说明红外诱饵的三维模型建模方法,将三维模型投影到 XY 平面进行说明。如图 4 所示,红外诱饵三维模型的二次曲线为

$$y = A \cdot \sqrt{x \cdot B} \quad (5)$$

其中, A 、 B 为控制参数,由用户设定,用户通过设定参数 A 和 B 可以调整面源红外诱饵的空间分布大小,以及长细比。

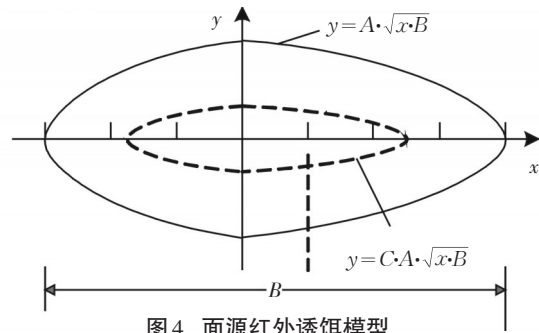


图4 面源红外诱饵模型

图 4 中虚线内部区域为稳定燃烧区,在利用 OpenGL 实现时,采用固定模型,而不是随机粒子,主要目的是提高运行速度。虚线方程为

$$y' = C \cdot A \cdot \sqrt{x \cdot B} \quad (6)$$

其中, C 为调整因子,建议取值范围为 0.1 ~ 0.9。

红外诱饵三维模型中,随机粒子是在虚线与实线之间随机分布。

在生成随机粒子时,对于第 i 个粒子,首先生成 X 轴的随机数 x_i ,采用均匀分布的方式生成

$$x_i = B \cdot \text{Rand}(0,1) \quad (7)$$

其中, $\text{Rand}(0,1)$ 表示区间 $(0,1)$ 内的均匀分布随机数生成函数; B 为前述用户调整参数。

然后根据 x_i 的取值生成随机数 y_i 和 z_i , y_i 和 z_i 具有圆形分布特征,可以通过随机半径 R_i 和角度 θ_i 生成,其中 θ_i 采用均匀分布函数生成

$$\theta_i = 2\pi \cdot \text{Rand}(0,1) \quad (8)$$

随机半径 R_i 和采用正态分布函数生成

$$R_i = (y_i - y'_i) \cdot \text{Gass}(0,1) + y'_i \quad (9)$$

其中, $\text{Gass}(0,1)$ 表示均值为 0、方差为 1 的高斯分布随机数生成函数; y_i 和 y'_i 是根据式 (5) 和式 (6) 计算得到的,则有

$$\begin{cases} y_i = R_i \cos \theta_i \\ z_i = R_i \sin \theta_i \end{cases} \quad (10)$$

通过以上方式可以生成粒子在空间的随机位置,根据面源红外诱饵的组成特点,每个诱饵箔片采用长方形表示,在 OpenGL 中需要用 4 个顶点表示。箔片在空间中的方位也应该是随机的,通过生成箔片在空间中的 3 个随机方位角 (α, β, γ) , 根据坐标系转换可以计算得到长方形 4 个顶点在空间任意方位

的坐标,该计算过程不再详述。

关于每个箔片的亮度,考虑到相对于背景而言,红外诱饵的辐射强度很高,在导引头中一般很亮,因此都采用了白色显示,如果需要变换,可以根据随机半径 R 进行设定。

3 仿真实现及仿真结果分析

面源红外诱饵的运动学仿真,是利用VC软件实现了面源红外诱饵运动学微分方程组求解。用户通过设定载机速度、载机姿态、诱饵出射初速度、诱饵投射方向等参数实现面源红外诱饵的运动学仿真^[8]。如图5所示,给出了一组面源红外诱饵运动轨迹仿真结果,仿真条件为飞机沿 Z 轴水平飞行,诱饵投射方向为垂直向上,诱饵投射初速度为30 m/s,投射的初始高度为6 002 m。从图5中可以看出点源红外诱饵的飞行高度和飞行距离相对面源红外诱饵而言要更高更远,这与理论分析一致。

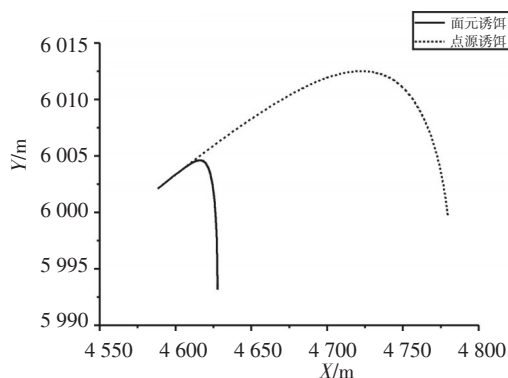


图5 诱饵运动轨迹仿真结果

面源红外诱饵三维模型和动态红外图像生成则是利用了OpenGL技术,在计算得到诱饵运动轨迹后,再根据观察距离和方位生成诱饵的图像。面源红外诱饵发射以后会逐渐散开,形成一定的空间分布,在仿真时需要考虑。根据前述的建模思路,利用OpenGL技术建立了随机诱饵空间分布模型,给出了侧面观察到的诱饵空间分布变化过程,如图6所示,可以看出诱饵逐渐散开的过程。



图6 面源红外诱饵空间分布仿真图像

如果观察角度不同所看到的面源红外诱饵图像也不相同。如图7所示,从左到右分别是正尾后,侧向45°以及正侧方观察到的诱饵图像。



图7 不同视角观察的面源红外诱饵仿真图像

4 结 论

针对面源红外诱饵,以点源红外诱饵运动学方程为基础,通过改变参考面积建立面源红外诱饵的运动模型,实现了面源红外诱饵的运动学仿真。利用随机粒子系统建立了面源红外诱饵的三维空间分布随机模型,利用OpenGL建立了面源红外诱饵的三维仿真模型,从而可以根据投影变换得到不同视角观察到的红外诱饵图像。利用VC编写了红外诱饵仿真软件,可以输出红外诱饵的运动轨迹,以及不同视角下的红外诱饵图像,仿真结果定性地反映了面源红外诱饵的特性。

参考文献

- [1] Ernst-Christian Koch, Axel Dochnahl. IR emission behavior of Magnesium Teflon Viton (MTV) compositions[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2000, 25(37): 37-40.
- [2] 林涛,李阔. 分布式面源型红外诱饵建模研究[J]. 光电技术应用, 2007, 22(1): 72-74.
- [3] 王继光,王敏帅,臧寿洪. 国内外红外面源诱饵弹的发展和试验方法研究[J]. 红外, 2011, 32(10): 16-20.
- [4] Ernst-Christian Koch. Pyrotechnic Countermeasures: II. Advanced Aerial Infrared Countermeasures [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2006, 31(1): 3-19.
- [5] 陈乃光. 光电干扰箔片云团运动规律的仿真研究[J]. 航天电子对抗, 2008, 24(5): 20-23.
- [6] 杨东升. 机载红外诱饵运动特性仿真技术研究[J]. 西北工业大学学报, 2009, 29(7): 781-784.
- [7] 张芹,吴慧中,张健. 基于粒子系统的建模方法研究[J]. 计算机科学, 2003, 30(8): 144-146.
- [8] 张云哲. 动态红外诱饵弹仿真方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.