

doi: 10.7690/bgzdh.2017.07.005

基于射击线和粒子系统技术在定向战斗部威力仿真中的应用

周家胜, 任华杰

(海军驻沈阳弹药专业军事代表室, 沈阳 110045)

摘要: 为了能够直观地描述破片的形成及其毁伤作用等过程的特性, 设计一种定向战斗部威力可视化仿真平台。根据轴向增强型定向战斗部毁伤场所呈现的具体特征, 创建了以射击线、粒子系统技术为基础的轴向增强型定向战斗部威力仿真模型, 以该技术为核心开发了定向战斗部威力可视化仿真平台。仿真平台运行结果表明: 该技术可较好地描述定向毁伤元的形成、运动和命中等过程特性, 能够形象直观地给出弹目作用过程, 可为定向战斗部威力优化设计提供参考。

关键词: 定向战斗部; 毁伤元; 射击线模型; 粒子系统模型; 可视化仿真

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

Application of Shot-line and Particle Systems Technology in Directional Warhead Power Simulation

Zhou Jiasheng, Ren Huajie

(Military Representative Office of Naval Ammunition in Shenyang District, Shenyang 110045, China)

Abstract: For objectively describing the features of fragment generation and its damage, design the directional warhead power visual simulation platform. According to the specific feature of directional warhead damage area with axial field enhanced, establish simulation models of warhead power based on shot-line and particle systems technology, taking the technology as the core, develop directional warhead power visual simulation platform. The simulation platform operating results show that the models can make good description of process features such as directional fragment generation, moving and hitting, give damage process of the visual image, and provide reference for directional warhead power optimal design.

Keywords: directional fragment warhead; damage fragment; model of shot-line; models of particle system; visual simulation

0 引言

在介绍弹药战斗部威力模型时, 往往采用统计学创建破片在空间分布统计规律的方法, 通过数学期望对其分布空间对应到中靶的有效破片予以表征。此方法容易操作, 但精度度较低, 并且通用性不理想, 无法直观形象地描述破片的形成及其毁伤作用等过程特性。

陆基或者舰基炮弹在进行防空反导的过程中, 其战斗部以及来袭导弹的常见遭遇方式是战斗部轴向迎击交汇^[1]。在这种交汇方式下要提高炮弹战斗部毁伤元命袭来导弹的概率, 就要求战斗部中毁伤元能够朝轴向方向相对集中地抛掷出去, 构成轴向增强型的毁伤场。这种炮弹战斗部就是轴向增强型定向战斗部, 该战斗部装有几百甚至上千枚预制破片毁伤元(即轴向增强型定向毁伤元)。

针对轴向增强型定向战斗部毁伤场的形成特征, 笔者在对广义射击线战斗部威力模型以及粒子系统战斗部威力模型进行校正处理之后, 创建了以射击线和粒子系统^[2]为核心技术的定向战斗部威力

可视化仿真平台。

1 基本理论

1.1 定向毁伤元对导弹的弹目交汇方式

在定向战斗部和导弹目标轴相迎击交汇的一瞬间, 依靠引信炸点精准控制来袭导弹目标前方一定距离和方位上引爆战斗部, 将战斗部中预置的几百甚至上千枚毁伤元(预制破片)以战斗部轴向展开方式按照相应的抛撒规律汇聚至来袭导弹目标前方, 构成一个分布密度大、动能较高且具有相应纵深的毁伤场, 以此实现对目标的最大毁伤效能^[3]。轴向增强型定向毁伤元对导弹的弹目交汇方式如图 1。

1.2 2 种常见的战斗部威力仿真模型

如今, 通过信息系统对战斗部威力进行阐释的仿真模型主要分为 2 种: 一是基于校正广义射击线的战斗部威力仿真模型^[4-5]; 二是基于粒子系统的战斗部威力仿真模型^[6]。

前者采用射击迹线来模拟战斗部不同毁伤元的弹道特性(速度和方向), 实现破片杀伤战斗部破片

收稿日期: 2017-03-07; 修回日期: 2017-04-11

作者简介: 周家胜(1968—), 男, 辽宁人, 高级工程师, 从事弹药装备监造研究。

场的威力仿真。此模型未计入毁伤元的有效作用时间因素，对所有毁伤元而言，其有效作用时间均非无尽的，该特征和粒子系统具有异曲同工之处：当处于抛撒环节时，毁伤元形成；当处于飞行模式时，毁伤元的属性发生变化；当遭受撞击时，毁伤元速度迅速降低，一直持续至超出有效作用区域、终止或穿透目标面元^[7]。

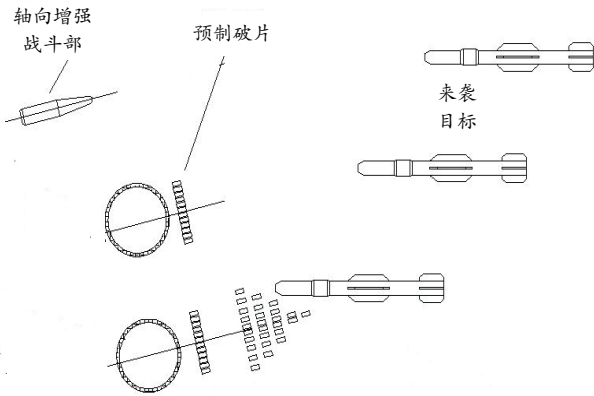


图 1 弹目交汇方式

后者将破片战斗部毁伤场视为一个由数以万计的高速运动破片粒子构成的粒子系统，通过破片飞散轨迹的控制、质量以及速度等属性特征对毁伤场予以定量分析。不过此模型在对毁伤元的轨迹控制方面稳定性较差。

2 轴向增强型定向毁伤元静态/动态模型^[8]

2.1 基本假设

为便于分析目标毁伤效果及毁伤元的动静态特性，笔者提出如下假设：

- 1) 毁伤元主要是指预制破片，忽略了战斗部壳体爆炸而导致的自然破片以及爆轰波对目标造成的毁伤；
- 2) 抛撒驱动阶段，若毁伤元的轴向位置以及径向半径均保持一致，那么其抛撒速度亦保持一致；
- 3) 因弹目交汇时间偏短，此阶段目标进行匀速运动；
- 4) 从最初形成到成功击中目标，毁伤元飞行距离内的衰减系数是常数值；
- 5) 忽略重力影响，认为毁伤元飞行弹道为直线。

2.2 毁伤元的静态/动态位置描述

由于战斗部前期方案设计的需要，设计者往往希望在战斗部威力仿真时对其内部毁伤元(预制破片)位置作一定的调整，即动态改变毁伤元的位置。

若动态确定毁伤元存在于战斗部内部范围，那么可通过柱坐标的方式进行说明，即在弹体坐标系之上，借助柱坐标对毁伤元素于战斗部内部的具体

分布情况进行显示，具体可参考图 2。这时需要应用到的关键参数包括轴向位置、半径以及角度(位于 YOZ 平面内)。其他参数还包括：轴向层数 k ；各层毁伤元素个数 n ；轴向位置 x ；径向层数 j ；径向半径 r ；起始角度 θ_0 。

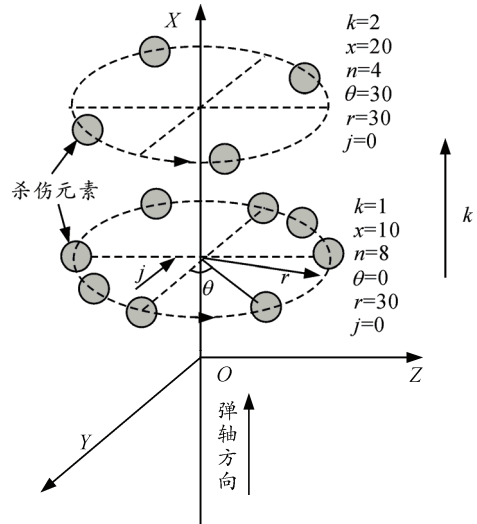


图 2 弹体坐标系下毁伤元分布

3 定向战斗部威力仿真模型

3.1 轴向增强型定向毁伤元的特征分析

轴向增强型定向毁伤元具有确定的速度、起点等相关属性，在未考虑相关因素的情况下，毁伤元所形成的运动轨迹即与其初始位置处形成的射线，故拥有射击线的属性特征。

在一次生命周期之中，轴向增强型定向毁伤元拥有典型的粒子生命周期特性，具体表现为：战斗部起爆之后形成一受飞行运动的影响，其速度以及位置等重要属性发生变化—显现发生变化之后的毁伤元属性—一击中或者超过威力半径，毁伤元无效(终止)，即具有粒子系统属性。

3.2 基于有限网格(面元)的弹目作用模型

在轴向增强型定向毁伤元散布过程的计算机描述时，采用过程建模中的粒子系统。该系统由大量毁伤元粒子的简单体素构成。无论是哪个毁伤元粒子，均拥有以下属性因素：ID 编号、位置、飞散方向角和速度等。

通过功能强大的元建模技术完成对导弹目标几何模型的创建，把目标表明进行离散处理，使其成为有限平面三角形面元的组合，具体可见图 3(a)。

在毁伤元有限的生命周期中，根据各毁伤元射

击迹线和目标各面元所形成的交汇条件进行计算处理，以此得到两者的交汇参数，基于终点毁伤威力对分析模型进行阐释^[9]，得出目标命中的毁伤元个数、质量等具体参数，为提高毁伤元合理评定目标终点毁伤提供可靠依据。

图3(b)中 C_1, C_2, C_3 元所代表的3个顶点，具体介绍如下： H_i 表示毁伤元射击线和面元所形成的交点； F_i 表示特定的毁伤元运动轨迹线。若毁伤元迹线穿透目标面元，那么就会把和毁伤元存在密切联系的信息存储于毁伤元作用向量，不仅如此，还将目标面元信息统一存储于目标作用向量，为后期进行目标毁伤评定工作提供相应的参考。

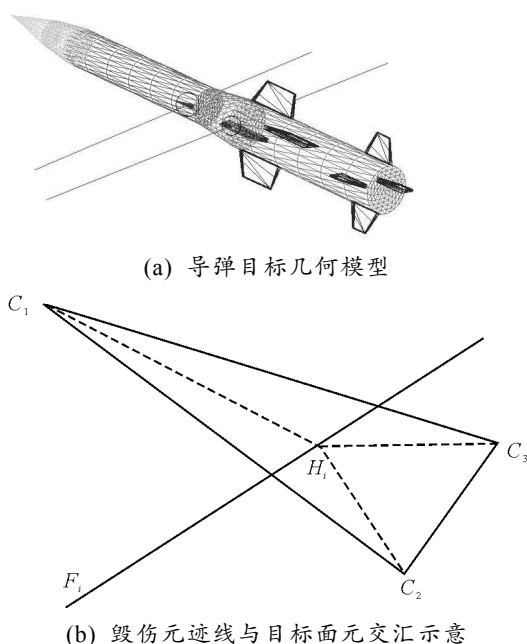


图3 导弹目标模型及毁伤元迹线

毁伤元作用向量：

$$\mathbf{R}_{pi} = (ID_{pi}, ID_{ij}, \alpha_{pi}, v_{pi}, E_{pi}, T_{pi})^T, \quad pi = 1 \sim M_p. \quad (1)$$

式中： ID_{pi} 为毁伤元的标志号； ID_{ij} 为目标面元的标志号； α_{pi} 为命中着角； v_{pi} 为命中速度； E_{pi} 为命中动能； T_{pi} 为命中时间； M_p 为命中目标毁伤元个数。

目标面元作用向量：

$$\mathbf{R}_j = (ID_{ij}, ID_{pi}, N_{ij}, h_{ij}, b_{ij})^T, \quad tj = 1 \sim M_t. \quad (2)$$

式中： ID_{ij} 为目标面元的标志号； ID_{pi} 为毁伤元标志号； N_{ij} 为命中次数； h_{ij} 为毁伤元的浸彻深度； b_{ij} 为目标面元被穿透标志； M_t 为被命中目标面元个数。

3.3 3维毁伤元状态矩阵^[10]

根据轴向增强型定向战斗部毁伤场的形成特征

和对导弹目标的作用方式，笔者采用广义射击线来控制毁伤元的运动轨迹，用毁伤元的初始、过程和终点等粒子属性来表征其形成、扩展、命中和终止的生命周期特征，在修正广义射击线战斗部威力仿真模型和粒子系统战斗部威力仿真模型的基础上，将两者拓展到轴向增强型定向战斗部毁伤场形成及威力仿真中。

基于射击线和粒子系统的技术定向战斗部威力仿真模型采用3维毁伤元状态矩阵来描述：

$$\mathbf{F}^k = \begin{bmatrix} F_{1,1}^k & \cdots & F_{1,n}^k \\ \vdots & & \vdots \\ F_{l,1}^k & \cdots & F_{l,n}^k \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$$F_{i,j}^k = (m_{i,j}^k, v_{i,j}^k, p_{i,j}^k, ID_{i,j}^k, \alpha_{i,j}^k, B_{i,j}^k, T_{i,j}^k, \tilde{T}_{i,j}^k). \quad (4)$$

式中： l 为毁伤元分布层数(径向)； k 位毁伤元轴向编号(段数)； n 为毁伤元径向编号； $v_{i,j}^k$ 为毁伤元的速度； $m_{i,j}^k$ 为毁伤元的质量； $p_{i,j}^k$ 为毁伤元的位置坐标； $ID_{i,j}^k$ 为毁伤元唯一标志号； $\alpha_{i,j}^k$ 为毁伤元运动衰减系数； $B_{i,j}^k$ 为毁伤元的命中布尔变量； $T_{i,j}^k$ 为毁伤元仿真存在时间； $\tilde{T}_{i,j}^k$ 为毁伤元起爆时间。

4 基于射击线和粒子技术仿真平台

为了形象直观地描述轴向增强型定向战斗部毁伤场的形成特征、弹目作用方式和对导弹的毁伤效果，笔者利用OpenGL函数库、VC++软件等计算机仿真技术，以基于射击线和粒子系统技术为核心技术支持，开发了定向战斗部威力可视化仿真平台。

4.1 平台开发要求

- 1) 原始数据输入的可视化。对话框方式输入。
- 2) 背景环境的可视化。弹目交汇的空中背景环境可视化。
- 3) 仿真过程可视化。建立仿真实体外观形态的3维模型，动态显示整个仿真运动的过程。
- 4) 仿真结果可视化。把众多仿真结果数据的变化情况直观显示给用户。
- 5) 视点漫游及图像效果的动态改变。随时改变观察点、缩放观察范围、模型显示模式等。

4.2 平台整体构成

总体而言，平台主要包含5大要素：一是参数管理；二是用户交互；三是可视化处理；四是模拟结果研究；五是生成动画等，其整体构架见图4。

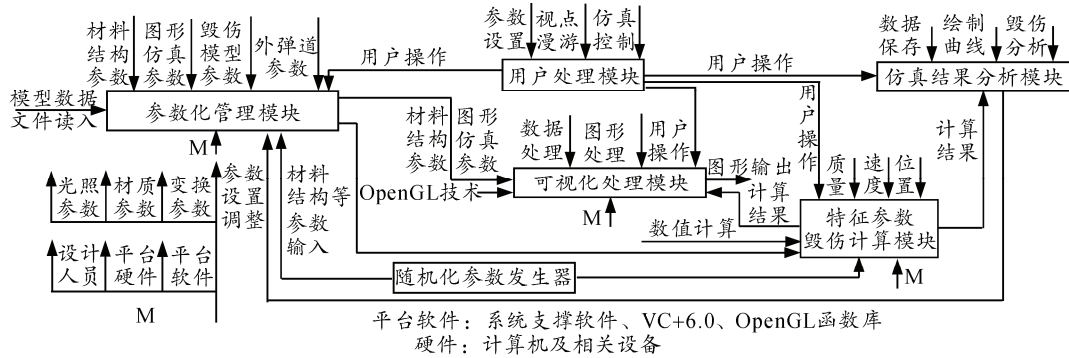


图 4 平台整体框架

4.3 平台参数输入

弹目交汇时，不仅会应用到目标参数、交汇参数，而且需要相应的毁伤元特性参数等。当对毁伤结果进行研究时，要明确目标易受损性参数以及相应的评估参数等。鉴于所应用到的参数类型较多，笔者建议采用灵活便捷的参数输入模式。

图 5—图 8 分别给出了毁伤元特征参数输入界面、目标参数输入界面、弹目交汇参数输入界面和毁伤参数输入界面。

Windows 风格进行设计与研发的，并添加了一些创意性元素。整个界面整齐、大方，具有动画效果，还为用户操作提供了便捷的工具按钮。



图 5 毁伤元参数输入界面



图 6 目标参数输入界面

4.4 平台运行界面与结果输出

平台运行界面是计算机和操作者进行互动的一个界面，对于应用型仿真模拟平台而言，用户界面设计尤为重要。如图 9 所示，该用户界面是根据

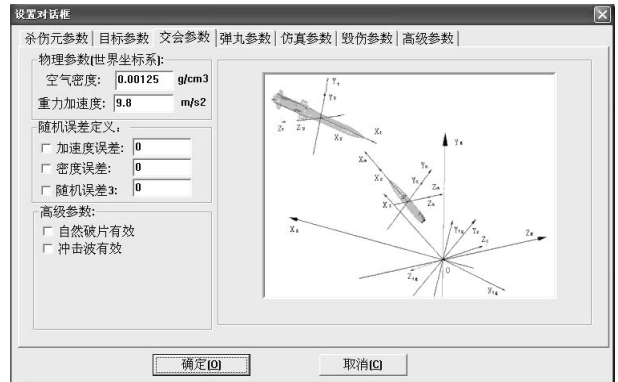


图 7 弹目交汇参数输入界面



图 8 毁伤参数输入界面

图 9 中顶端的平台菜单和工具条可以实现仿真平台中的视图模式设置模块、仿真参数设置模块的调用、录制动画模式模块的调用、结果分析模块的调用、仿真进程的控制等操作；中间区域用来显示轴向增强战斗部对导弹毁伤效果的仿真场景；左方界面实时显示毁伤元素位置与目标位置变化情况，并可以选择不同的投影面投影、毁伤元的动态识别、目标部件对应面元的识别等；右方界面实时显示仿真运行情况及用户交互主要视窗。图 10 给出了毁伤元命中导弹目标的效果实体。

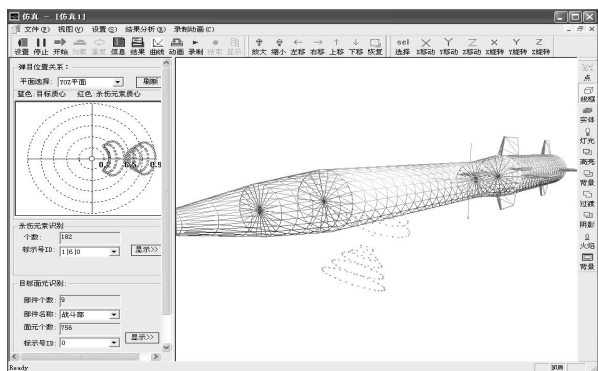


图 9 仿真软件运行界面

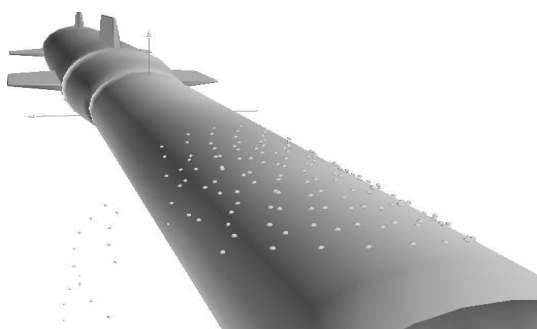


图 10 命中效果实体

5 结论

经过 76 mm 轴向增强型弹药对 ARM 反辐射导弹毁伤仿真的实际案例运行, 结果表明: 基于射击迹线和粒子系统技术可以比较精准地表达轴向增强

(上接第 4 页)

其中惰性粘结体系炸药的总能量达到 2.15 倍 TNT 当量, 而含能粘结体系中, GAP 和 TEGDN 粘结体系炸药总能量分别达到了 1.99 和 2.05 倍 TNT 当量。不同粘结体系炸药的能量输出结构如图 7 所示。

5 结束语

通过不同粘结体系炸药配方设计和水下爆炸试验, 得到了不同粘结体系 PBX 炸药最优配方, 并得出了不同粘结体系 PBX 炸药的能量输出结构。含能粘结体系 PBX 炸药的比冲击波能比惰性粘结体系炸药高了 12%~23%, 但由于含能粘结体系力学性能和工艺性能的限制, 使炸药中固含量下降、铝粉含量降低, 导致含能粘结体系炸药气泡能较低。故 GAP 粘结体系和 TEGDN 粘结体系炸药总能量只有 1.99 和 2.01 倍 TNT 当量, 而 HTPB 粘结体系炸药总能量达到了 2.15 倍 TNT 当量。

参考文献:

[1] 余湖清, 段桂林, 孙朴. 水雷总体技术[M]. 北京: 国防

战斗部毁伤元的飞散特性, 不仅能够对毁伤元以及较为复杂的目标的精准命中做出合理预测, 而且能够对毁伤元的命中量、命中区域等各种毁伤结果做出相应的统计。该研究能够为定向战斗部威力方案优化设计提供参考。

参考文献:

[1] 谢邦荣, 宋劲松. 毁伤元与空中目标的动态交会建模[J]. 火箭与制导学报, 2001, 21(4): 52-55.
 [2] 鄢晓彬. 粒子系统技术在计算机图像绘制特技制作中的应用[J]. 青海大学学报, 2006, 24(5): 122-124.
 [3] 姚志敏, 郝永生, 尉广军, 等. 防空导弹杀伤概率评估方法研究[J]. 军械工程学院学报, 2003, 15(3): 24-28.
 [4] 卢永刚, 钱立新, 杨云斌, 等. 目标易损性/战斗部威力评估方法[J]. 弹道学报, 2005, 17(1): 46-52.
 [5] 蒋建伟, 卢永刚, 钱立新. 射击迹线技术在战斗部破片场仿真中的应用[J]. 火箭与制导学报, 2001, 21(1): 29-34.
 [6] 孔维东. 基于粒子系统的破片毁伤场可视化仿真[C]. 2005 年弹药战斗部学术交流会议论文集, 2005: 334-338.
 [7] 朱亮. 低附带毁伤弹药设计及毁伤原理分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2011.
 [8] 谢传波. 轴向增强战斗部对空目标毁伤效果的仿真研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
 [9] 李向东, 张运法, 魏惠之. AHEAD 弹对导弹目标的毁伤研究[J]. 兵工学报, 2001, 22(4): 556-559.
 [10] 段丰安, 王朝志, 王辉, 等. 爆破子母弹战斗部毁伤威力场研究[J]. 战术导弹技术, 2003, 12(3): 37-44.
 [1] 工业出版社, 2009: 42-43.
 [2] 孙国祥. 混合炸药及其发展[M]. 西安: 中国兵器工业集团第二零四研究所, 2008: 71-75.
 [3] 唐桂芳, 王行武, 刘哲. 低易损混合炸药粘结剂的选择[J]. 火炸药, 1993(4): 17-20.
 [4] 薛金强, 尚炳坤, 王连心. 含能增塑剂的研究新进展[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2012, 10(6): 7-13.
 [5] 罗云军, 葛震. 含能黏合剂合成研究新进展[J]. 火炸药学报, 2011, 34(2): 1-5.
 [6] 陈建宇, 徐更光. GAP 应用研究新进展[J]. 兵工自动化, 2015, 34(4): 67-70.
 [7] 欧育湘. 炸药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 77-95.
 [8] 田德余, 赵凤起, 刘剑洪. 含能材料及相关无手册[S]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
 [9] 崔庆忠, 刘德润, 徐军培. 高能炸药与装药设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 140-147.
 [10] 库尔 P. 水下爆炸[M]. 北京: 国防工业出版社, 1960: 67-75.
 [11] 李澎. 非理想炸药水下爆炸能量输出结构研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2006.