

目标毁伤效果评估仿真系统研究^{*}

高润芳¹, 张永生², 沈 生¹

(1 第二炮兵装备研究院, 北京 100085; 2 中国兵器工业第 203 研究所, 西安 710065)

摘 要: 为了评估破片式战斗部对飞机目标的毁伤效果, 文中将目标毁伤效果评估思想与计算机仿真应用技术相结合, 提出了建立目标毁伤效果评估仿真系统的构架结构及模块设置, 编写了开发程序, 结合实例开发了目标毁伤效果评估仿真系统, 实现了仿真功能, 实现了对目标毁伤的高精度评估。

关键词: 目标; 毁伤效果评估; 仿真系统

中图分类号: TJ012.4 文献标志码: A

Research on Target Damage Effect Assessment Simulation System

GAO Runfang¹, ZHANG Yongsheng², SHEN Sheng¹

(1 The Second Artillery Equipment Academy, Beijing 100085, China;

2 No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China)

Abstract: Based on advanced target damage effect assessment method and computer simulation technology, the framework and modules of target damage effect assessment simulation system had been proposed and the developing process had been issued, the target damage effect assessment simulation system was developed, and precisely target damage effect assessment was realized.

Keywords: target; damage effect assessment; simulation system

0 引言

目标的毁伤效果计算与评估统称为毁伤效果分析, 是常规导弹武器火力运用研究中一项重要的基础性工作。模型分析和实射实验是毁伤效果分析的传统方法。实射实验方法不仅需要耗费大量的人力、物力和财力, 而且由于受到实验样本量的限制, 所获取的数据大都是分散的, 不能提供全面分析目标毁伤所需要的全面系统的数据; 而模型分析结果具有抽象性和不可检验性, 因而分析结果的精度和可信度不高^[1]。

随着计算机仿真技术的发展, 二战后就已开展了对目标毁伤效果评估的仿真研究, 如美国的 ARL 及 BRL 两大军方试验室对目标毁伤的终点毁伤效应、机理, 以及评估方法和评估分析程序、计算机仿真技术等作了大量深入细致的研究, 并开发了多种典型目标的毁伤评估模型及程序, 如 SHO TGEN、COVART、VISTA、

MUVES 等, 并将研究分析成果应用于武器工程设计中, 大大提高了对目标的毁伤效率。

国内在目标毁伤效果评估方面的系统研究开始于 20 世纪 80 年代, 许多专家、学者都涉足于该领域内的研究。随着计算机技术的发展及军事需求的增长, 目标毁伤效果的仿真评估方法研究, 已经从简单的终点效应威力参数评估发展到实战毁伤威力的仿真模拟, 评估目标也从简单的简化目标发展到复杂的三维目标。

1 系统结构设计

1.1 系统功能模型

1.1.1 目标易损性描述

目标易损性模型结构如图 1 所示, 主要由 3 大部分组成: 目标几何模型、目标特征数据库和目标部件功能结构树。

目标几何模型, 是将目标的具体结构经过一定的简化, 按系统、组件、部件、面元、节点等层级

* 收稿日期: 2008-08-12

作者简介: 高润芳(1974-), 女, 内蒙古人, 助理研究员, 博士, 研究方向: 武器效应及目标毁伤。

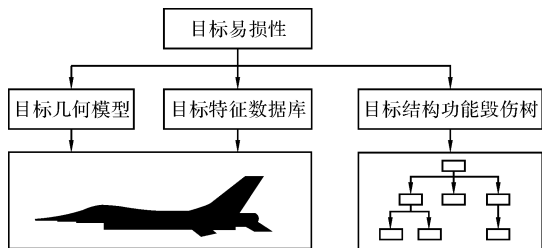


图 1 目标易损性模型结构

结构建立的面元化几何部件模型,参照目标实际结构及尺寸数据,在计算机中将目标结构完整三维再现,按目标的复杂程度及要求精度的不同,实际层级结构划分还可以进一步细化或简化。

对所建立的各部件几何模型,通过设置相对应的部件名称与目标特征数据库及功能结构树关联,实现对数据库的参数驱动。通过建模工具软件完成建模后,将其面元及节点等信息输出为可读写的图形文件格式,提供给弹目交汇计算。

目标特征数据库包括结构模型数据、目标易损性数据(材料的类型、等效厚度、部件毁伤机理、毁伤特性等)以及提供三维可视化显示的材料特性参数(颜色、反射特性、透明性)等数据,为进一步的弹目交汇毁伤评估及结果数据处理提供详细的目标数据源。

目标结构功能毁伤树等同于可靠性评估中的失效树概念,采用数据库形式,引入“目标部件功能结构矩阵”概念,以矩阵向量来描述目标各部件功能的树形结构关系,表示目标各部件的功能与上层组件、系统关系及对其影响,实现目标结构关系的数学描述,用于弹目交汇毁伤评估中,在获得各部件的毁伤情况后,对整个系统性能、易损性的影响程度评估,为进一步毁伤评估的数学模型化提供基础。

1.1.2 战斗部威力指标描述

战斗部威力数据库是描述弹药威力特征的数据库,不同类型的战斗部对目标的作用方式不同,描述威力特征参数不同^[2]。例如爆破类型弹药主要依靠爆炸产生的爆炸产物和冲击波对目标形成破坏;而杀爆弹的主要杀伤元素是破片。描述战斗部的威力指标首先对战斗部依据其作用类型分类,然后对每一类型战斗部的威力指标分别进行描述。

爆破类型的战斗部的威力参数包括:装药种

类、密度、爆速、装药爆炸后冲击波的衰减规律等;杀爆类型战斗部的威力参数包括:杀伤破片的几何尺寸、战斗部爆炸后破片的空间分布、初速等;破甲类型战斗部的威力参数包括:破甲子弹形成射流的头部速度、射流长度等;动能侵彻战斗部的威力参数包括:侵彻速度、深度等。

对每一种战斗部类型都需要建立独立的威力模型。在建模过程中均采用了比较先进的仿真方法,例如对破片战斗部破片场的仿真评估采用了广义射击迹线模型,该模型采用射击迹线来模拟每个杀伤元素的弹道,可以描述各个杀伤元素的空间分布和毁伤威力。

1.1.3 弹目交汇作用模型

弹目交汇作用模型不仅要根据战场实际情况给出弹丸终点速度、击中目标情况及位置等终点参数,而且要根据不同弹药对不同目标的毁伤机理,采用适当的数学模型和方法实现毁伤元对目标毁伤作用的计算。因此弹目交汇作用模型应包括两部分内容:弹目交汇过程和毁伤元对目标的毁伤计算。

1.1.4 目标毁伤评估

目标的毁伤准则是目标毁伤评估的基础,目标类型不同毁伤准则不同,例如装甲类目标,以目标各部件的等效厚度及目标部件毁伤所需击中的破片数为毁伤准则;建筑类目标以所能承受的超压和冲量为毁伤准则等。不同目标的毁伤准则数据可存储在与目标对应的毁伤准则数据库中。

1.2 系统结构及工作流程

系统的结构主要由数据库系统、算法模型库、目标描述模块、弹药战斗部描述模块、弹目交汇过程仿真模块、毁伤元对靶板作用过程仿真模块、毁伤评估模块、数据处理模块、图形可视化模块等组成。系统结构总体框架如图 2 所示。其中:数据库系统主要用于储存数据,包括目标数据库、弹药战斗部数据库、目标毁伤数据库 3 个数据库;算法模型库用于实现战斗部终点效应参数计算及提供弹目交汇作用的算法、杀伤元素对目标作用的算法等;图形可视化模块用于显示目标、弹药、弹目交汇作用、毁伤效果显示等。

系统的工作流程为:

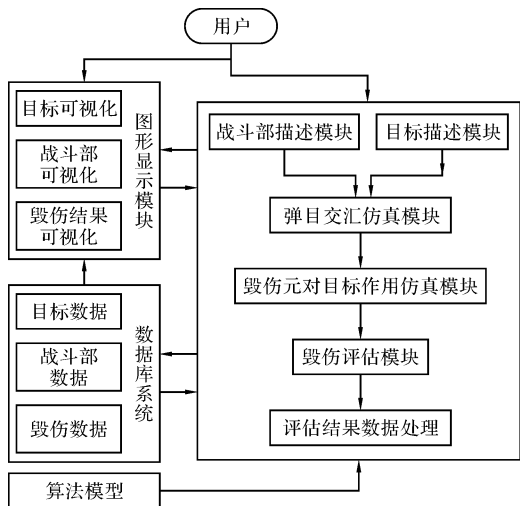


图 2 系统框架结构

- 1) 使用目标数据完成目标描述,使用战斗部数据完成战斗部描述;
- 2) 目标数据、战斗部数据提供给数据库系统;
- 3) 调用可视化模块实现目标和战斗部的可视化;
- 4) 调用数据模型库,使用目标描述和战斗部描述数据完成弹目交汇的仿真;
- 5) 调用算法模型库,使用目标描述和弹目交汇数据完成毁伤元对目标毁伤分析的仿真;
- 6) 调用毁伤评估模块,使用毁伤数据得到毁伤评估结果;
- 7) 毁伤评估结果写回数据库;
- 8) 仿真过程中可通过调用可视化模块实现仿真数据的图形可视化。

2 算例

文中完成了对某型飞机目标有关数据的收集和整理,建立了目标数据库,利用开发的数字仿真平台,模拟了破片式战斗部对飞机的毁伤作用。弹目交汇情况如图 3 所示。飞机与某破片式战斗部交汇情况如图 4 所示。

由于战斗部爆炸后,破片形成动态的破片飞散锥,动态破片的飞散范围可由破片动态飞散角确定,仿真时用两个圆锥面模拟破片的飞散范围,圆锥的高度由破片飞行轨迹确定。破片在飞散方位角和动态飞散角间的分布假设为均匀分布。

本算例模拟了飞机受到来自不同方位威胁的易损性情况,仿真结果如表 1 所示。

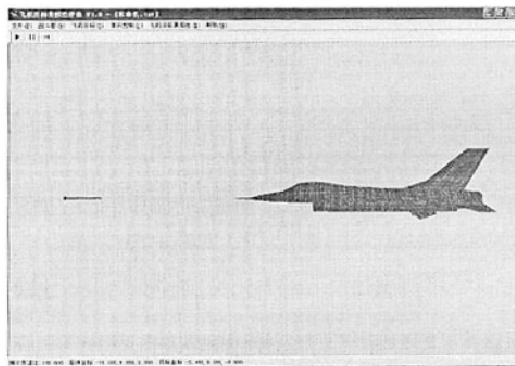


图 3 飞机目标外部结构及弹目交汇情况



图 4 飞机与破片场交汇侧面图

表 1 水平面内 7 个方位的毁伤概率

破片 初速/ (m/s)	攻击角度						
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	315°
800	0.04	0.38	0.57	0.69	0.08	0.70	0.47
1000	0.29	0.49	0.80	0.79	0.24	0.79	0.65
1200	0.37	0.50	0.532	0.800	0.372	0.800	0.690

3 结论

文中设计了目标毁伤评估仿真系统的结构与模块,并在此基础上实现了破片式战斗部对飞机目标的毁伤评估。所采用的目标描述技术,可以较好地描述战场复杂目标,也可以为毁伤仿真提供相匹配的目标数据,满足毁伤仿真的要求。

随着对毁伤研究的不断深入和计算机技术的快速发展,需要进一步研究的工作和方向:

- 1) 数字仿真平台的进一步完善。通过一系列的实验,收集和处理实验数据,充实毁伤数据库;研究各种弹靶系统的毁伤机理,充实模型库算法组件;对更多的目标和弹药进行分析,充实目标数据库、弹药数据库;逐步完善各种数据库的设计,更好的提高系统性能。

2.3 灰关联度

从关联系数的计算看,得到的是比较数列与参考数列在各点上的关联系数值,数据较多,信息过于分散,不便于比较,因而有必要将每一个比较数列的关联系数集中体现在一个值上。通过关联度可以将分散的数据作集中处理,求关联度的方法有面积法与平均值法。面积法一般作关联系数 $\xi_i(k)$ 的折线,折线与横坐标所夹面积即为关联度的大小,这种方法不常用,因此,在文中使用平均值法求出灰关联度,其定义如下:

$$r_i^j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i^j(k) \quad k = 1, 2, \dots, 12; i = 1, 2, \dots, 6; j = 1, 2 \quad (9)$$

根据式(9)与表 6 中的灰关联系数,即可求出关联度矩阵,见表 7。

表 7 关联度矩阵

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
y_1	0.704	0.620	0.711	0.658	0.761	0.760
y_2	0.668	0.578	0.782	0.625	0.793	0.754

对于比较数列 X_i 与参考数列 Y_j ,其关联度为 r_i^j ,按大小排列,即可得到灰关联序。分析关联矩阵中的数据,可以看出,对于理论计算得到的 EFP 速度值,其关联度由大到小的排序是 $x_5 > x_6 > x_3 > x_1 > x_4 > x_2$,对于数值模拟得到的 EFP 速度值,其关联度由大到小的排序是 $x_5 > x_3 > x_6 > x_1 > x_4 > x_2$ 。从两个比较数列关联度的排序可以看出,影响 EFP 速度的主要因素是装药密度 ρ_c 、爆速 D 和药型罩的锥角 α ,其次是药型罩直径 d 、装药高度 H 和药型罩壁厚 δ 。由于引入了装药结构因素以及各个因素的变化范围不同,得到的影响因素排序与文献[3]和[4]中的结论有一定的差别。由灰色理论分析结果可以看出,在 EFP 战斗部设计中,为了提高 EFP 的速

度,装药结构设计尤为重要。

3 结论

从理论结果和数值计算结果看,装药密度对 EFP 速度的影响很大。通过灰色理论分析表明,无论理论计算还是数值模拟得到的 EFP 速度,对速度影响的主要因素首先是装药结构,其次是药型罩的几何尺寸。将灰色理论应用于 EFP 速度影响因素的分析中,对 EFP 的设计具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 徐流恩,李永池,高乐南. 爆炸成型弹丸大炸高模拟律分析与应用实验研究[J]. 防护工程,2007,29(4):1-5.
- [2] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [3] 张先锋,陈惠武,赵有守,等. 聚能装药性能参数灰关联分析[J]. 兵工学报,2004,25(5):525-528.
- [4] 赵慧英,沈兆武,王晓海. 应用数值模拟和灰色理论计算分析聚能装药参数对聚能侵彻体成型性的影响[J]. 含能材料,2006,14(3):231-234.
- [5] 李必红,鲁艳红,陈寿如,等. 基于瞬时爆轰 EFP 成型速度的分析及应用研究[J]. 采矿技术,2005,5(3):87-89.
- [6] 林加剑,任辉启,沈兆武,等. 爆炸成型弹丸速度的工程算法对比及其应用研究[J]. 防护工程,2008,30(2):22-26.
- [7] Jun Wu, Jingbo Liu, Yinxin Du. Experimental and numerical study on the flight and penetration properties of explosively-formed projectile[J]. International Journal of Impact Engineering, 2007(34): 1147-1162.
- [8] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1992.

(上接第 111 页)

2) 专家系统、智能化方面,可以通过实验的数据和仿真的数据对结构或功能相近的一系列弹药或目标进行评估,对毁伤效果智能评估,并可提出相应的改进方案。

3) 加入战场环境因素,实现虚拟现实的模拟与仿真,为战场指挥系统提供相应的决策支持。

4) 数字仿真系统与计算机测控系统的结

合,可实时采集实验数据、现场数据处理与仿真、实验设备的控制驱动等。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 杨玉林,赵国志,李向东,等. 目标毁伤评估数字仿真平台系统研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(12):2743-2746.