

1-8-2019

Damage Simulation of a Certain Type of Armored Equipment Based on Finite Element Analysis

Junqing Huang

Army Armored Military Academy, Training Center, Beijing 100072, China;

Tuan Wang

Army Armored Military Academy, Training Center, Beijing 100072, China;

Guanghai Li

Army Armored Military Academy, Training Center, Beijing 100072, China;

Fan Rui

Army Armored Military Academy, Training Center, Beijing 100072, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Damage Simulation of a Certain Type of Armored Equipment Based on Finite Element Analysis

Abstract

Abstract: Based on the finite element numerical simulation method, the damage simulation of a certain type of armored equipment was studied. *The numerical simulation model of ammo power was established.* Based on 3D modeling technology, *the vulnerability model of the armored equipment in the component level with high-resolution was established.* The spatial relation model of projectile and target was established based on the interaction analysis of projectile and target. According to the characteristic of ammo damage element, combined with the damage criterion of armored equipment component, *the damage condition of the component and the damage grade of the armored equipment were determined.* Meanwhile, *the simulation system of armored equipment battle damage assessment was constructed,* and the damage simulation analysis of a certain type of armored equipment was carried out, which was foundation for further research on the damage of armored equipment.

Keywords

finite element analysis, armored equipment, damage, simulation

Recommended Citation

Huang Junqing, Wang Tuan, Li Guanghui, Fan Rui. Damage Simulation of a Certain Type of Armored Equipment Based on Finite Element Analysis[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(9): 3327-3332.

基于有限元分析的某型装甲装备毁伤仿真

黄俊卿, 王团, 李光辉, 范锐

(陆军装甲兵学院 演训中心, 北京 100072)

摘要: 采用有限元数值仿真方法进行某型装甲装备毁伤仿真分析。构建了基于有限元的弹药威力场数值仿真模型; 构建了基于三维建模技术的高分辨率装甲装备部件级易损性结构模型; 通过分析弹目空间交会情况, 构建了弹目交会空间关系模型, 依据弹药毁伤元特性, 结合装甲装备部组件毁伤判据, 确定了部件的毁伤情况及装甲装备的毁伤等级。同时, 构建了装甲装备毁伤仿真系统, 开展了某型装甲装备毁伤仿真分析, 为深入开展装甲装备毁伤研究奠定基础。

关键词: 有限元分析; 装甲装备; 毁伤; 仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 09-3327-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201809013

Damage Simulation of a Certain Type of Armored Equipment Based on Finite Element Analysis

Huang Junqing, Wang Tuan, Li Guanghui, Fan Rui

(Army Armored Military Academy, Training Center, Beijing 100072, China)

Abstract: Based on the finite element numerical simulation method, the damage simulation of a certain type of armored equipment was studied. *The numerical simulation model of ammo power was established. Based on 3D modeling technology, the vulnerability model of the armored equipment in the component level with high-resolution was established. The spatial relation model of projectile and target was established based on the interaction analysis of projectile and target. According to the characteristic of ammo damage element, combined with the damage criterion of armored equipment component, the damage condition of the component and the damage grade of the armored equipment were determined. Meanwhile, the simulation system of armored equipment battle damage assessment was constructed, and the damage simulation analysis of a certain type of armored equipment was carried out, which was foundation for further research on the damage of armored equipment.*

Keywords: finite element analysis; armored equipment; damage; simulation

引言

开展装甲装备毁伤仿真研究有着重要的意义, 能够为装甲装备作战仿真和保障仿真提供基础数

据, 同时能够为开展装甲装备毁伤研究提供重要参考^[1]。目前, 随着计算机技术的发展, 基于有限元的数值仿真已广泛应用到军事领域。装甲装备的毁伤仿真也可依托该方法, 用基于有限元数值仿真方法分析装甲装备被弹药的毁伤过程, 既能有效地理解装甲装备的毁伤机理, 同时还可获得较为可信的仿真结果^[2]。

基于有限元分析的装甲装备毁伤仿真方法主



收稿日期: 2016-05-08 修回日期: 2016-08-31;
基金项目: 军队科研计划项目(ZB2015WL);
作者简介: 黄俊卿(1977-), 男, 广西融安, 硕士, 讲师, 研究方向为作战仿真; 王团(1976-), 男, 安徽宿县, 硕士, 讲师, 研究方向为作战指挥; 李光辉(1972-), 男, 河南巩义, 硕士, 副教授, 研究方向为作战仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 3327 •

要是以有限元法和装甲装备毁伤机理为理论基础,通过建立弹药威力场的有限元数值模型并分析获得弹药的威力数据,以此为基础,结合装甲装备易损性结构模型的分析,以及装甲装备毁伤判据,确定装甲装备的毁伤情况。

1 弹药战斗部威力场数值仿真

弹药战斗部威力场是弹药战斗部在目标附近或内部形成对目标构成损伤作用的所有元素的集合。每个元素可称为一个“毁伤元”,每个毁伤元均是可产生毁伤作用的物质载体。穿甲弹战斗部的毁伤元主要是靶板破片和残余弹体;破甲弹战斗部的毁伤元主要是金属射流和靶板破片;榴弹战斗部的毁伤元主要是弹药破片及爆炸冲击波^[3]。可通过速度、质量、动能、方位、冲量、形状等来描述弹药毁伤元威力。本文进行弹药战斗部威力场仿真,主要利用基于有限元的分析程序,建立能够反映弹药结构和材料性能特点的仿真模型,即实体模型和材料模型,就可仿真分析弹药威力场的情况。

1.1 有限元数值仿真模型

(1) 实体模型

实体模型主要描述弹药战斗部结构特征。以弹药损伤机理为基础,以实际装备的结构和尺寸为依据,以 ANSYS/WORKBENCH 为建模工具,通过对实装进行合理简化,构建基于有限元的弹药实体模型。图 1 为基于有限元的某型弹药战斗部实体模型。

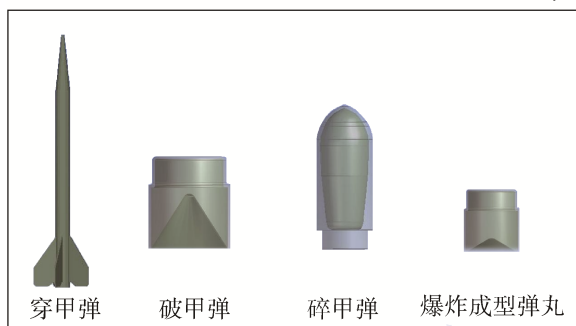


图 1 某型弹药战斗部实体模型
Fig. 1 The Entity Model of a Certain Type of Ammo Warhead

(2) 材料模型

材料模型主要是反映材料的性质和状态,通过状态方程和本构方程来描述。状态方程是与压力、密度、内能、温度等相关的关系式,主要状态方程包括 Linear、JWL 和 Shock 状态方程等。本构方程与材料的应变、应变率、内能等相关,体现材料偏向反应,通过强度模型来反映。主要有 Steinberg Guinan、Johnson-Cook 和 von Mises 模型等^[4]。

1.2 仿真结果分析

在弹药实体模型和材料模型建立的基础上,采用基于有限元冲击和爆炸动力学的 ANSYS/AUTODYN 分析程序,即可得到弹药的威力仿真情况。以下为穿甲弹和破甲弹战斗部威力场仿真分析情况。

(1) 穿甲弹战斗部威力场仿真结果分析

图 2 为穿甲弹以 1 500 m/s 着速和 25° 入射角侵彻靶板时的仿真状态图。在图 2 中,靶板开坑阶段弹体的形状变化,侵彻阶段靶板痕迹变化,以及冲塞阶段靶板背面出现的鼓包等弹体与靶板的物理变形情况基本上与穿甲弹穿甲作用的理论描述相一致。

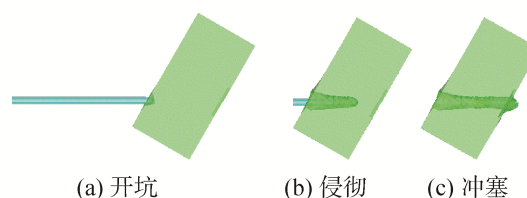


图 2 穿甲弹侵彻靶板的仿真过程
Fig. 2 The Simulation Process of the Armour-Piercing Warhead Penetration the Target

经过分析,穿甲弹侵彻靶板后产生破片,见图 3。破片的质量、能量分布与实际基本相符。

穿甲弹战斗部威力仿真结果与实验结果对照分别见图 4~5。

在图 4 中,靶板在实验和仿真中都被弹体开坑,并且坑体轮廓基本一致。

靶板在弹体侵彻过程中,受压缩应力波作用,

在靶背表面容易出现鼓包。靶板在实验和仿真中出现的鼓包基本相似, 见图 5。

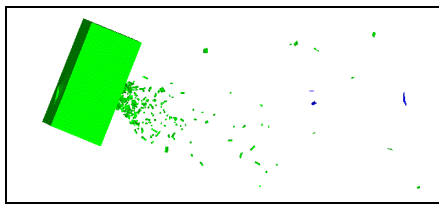
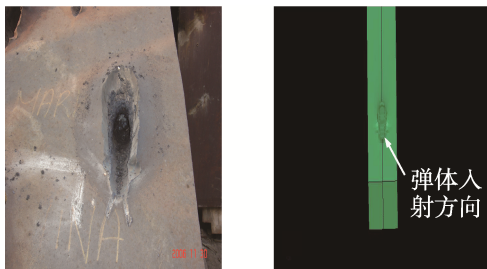


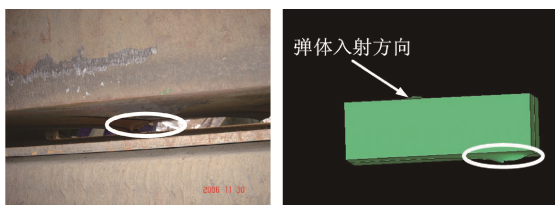
图 3 穿甲弹战斗部侵彻靶板后产生的仿真破片
Fig. 3 Simulation Fragments Generated by Armour-Piercing Warhead Penetrating the Target



(a) 实验结果 (b) 仿真结果

图 4 仿真与实验结果对照(靶板正面)

Fig. 4 Comparison between Simulation and Test Results (the front of the Target)



(a) 实验结果 (b) 仿真结果

图 5 仿真与实验结果对照(靶板背面)

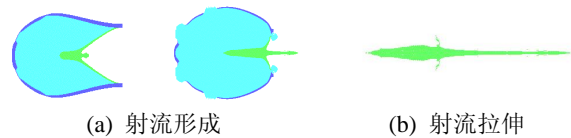
Fig. 5 Comparison between Simulation and Test Results (the back of the Target)

(2) 破甲弹战斗部威力场仿真结果分析

当破甲弹的装药引爆后, 产生高温、高压的爆轰产物, 爆轰产物压垮药型罩, 并在药型罩轴线上形成能量很高的金属射流。破甲弹战斗部经过仿真分析后, 形成的金属射流过程, 见图 6。

图 7 显示的是金属射流侵彻靶板的仿真过程, 主要包括开坑阶段、准定常侵彻阶段、冲塞阶段。

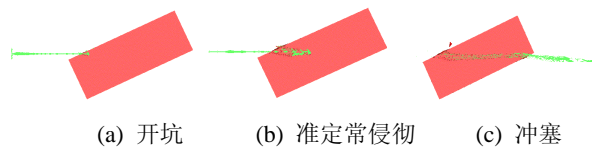
破甲弹战斗部金属射流侵彻靶板的仿真和试验结果对照, 见图 8。



(a) 射流形成 (b) 射流拉伸

图 6 破甲弹战斗部金属射流形成的仿真过程

Fig. 6 Simulation Process of the Jet Formation in Warhead of Armor Piercing Projectile



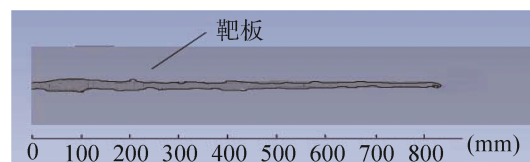
(a) 开坑 (b) 准定常侵彻 (c) 冲塞

图 7 金属射流侵彻靶板仿真过程

Fig. 7 Simulation Process of the jet Penetrating the Target



(a) 试验情况



(b) 仿真情况

图 8 金属射流侵彻靶板的仿真和试验结果情况

Fig. 8 Simulation and Test Results of the Jet Penetrating into the Target

从图 8 可以看出, 金属射流都已侵彻 800 mm 的均质装甲钢, 并且侵彻每块均质装甲钢时的开孔直径是不同的, 除第二、三块装甲钢的开孔直径要大于第一块装甲钢的开孔直径外, 随后被侵彻的装甲钢开孔直径逐渐减小。仿真结果与试验结果基本相符。

2 装甲装备易损性分析

本文主要是通过构建某型装甲装备部件级模型, 建立装甲装备各部组件间、系统之间的结构功能关系, 描述装甲装备几何、结构及功能信息, 为开展装甲装备毁伤分析提供目标基础。

2.1 装甲装备基本功能部件的确定

本文主要是通过装甲装备系统基本功能向下

确定各组成单元的基本功能。系统和各组成单元的基本功能被确定后,需要确定基本功能完成的重要部组件。重要部组件是影响系统基本功能和任务的重要分系统或部件。本文利用装甲装备系统简图或功能框图,采用自上而下的方法,逐一分析各子系统、组件、部件,从而确定完成基本功能的部组件。表1为某型装甲装备基本功能部件,主要是依据基本功能部件划分原则,结合范围和粒度两方面的综合分析得到。

表1 基本功能部组件(某型装甲装备)
Tab. 1 Basic Functional Components (Some Armored Equipment)

分系统	部组件	分系统	部组件
润滑系统	机油散热器	履带系统	履带
	机油泵		诱导轮
	机油滤清器		履带调整器

2.2 装装甲装备易损性建模

本文以某型装甲装备基本功能部组件的划分为基础,以部组件的实际结构尺寸为依据,以3D MAX为建模工具,构建装甲装备的易损性结构模型。在确保不影响部组件功能及其仿真分析结果的前提下,对装甲装备的部组件进行实体简化处理。经过简化后的某型装甲装备的易损性结构模型见图9。

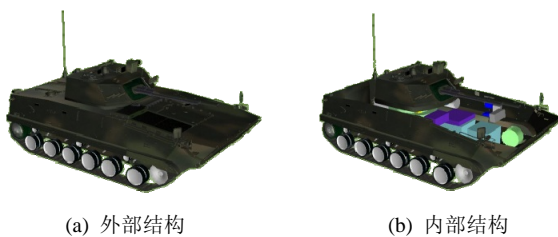


图9 某型装甲装备的易损性结构模型

Fig. 9 Structural Model of Vulnerability of a Certain Type of Armored Equipment

3 装甲装备毁伤仿真分析

3.1 弹空间目交会模型

在分析破甲弹金属射流毁伤装甲装备之前,要确定金属射流和靶板破片是否命中装甲装备。金

属射流和靶板破片在空间中的弹道轨迹将构成杀伤射线。杀伤射线与目标的相交问题研究,可进行金属射流和靶板破片是否命中目标判断分析。在构建部件模型时,由于模型部件均为单多面体或多面体组合,因此,如果部件的任一面和射线相交,则表示该部件与射线相交;如果部件的每一个面都不与射线相交,则表示该部件与射线不相交^[5]。金属射流和靶板破片形成的杀伤射线形成以及与部组件相交的仿真分析流程,见图10。

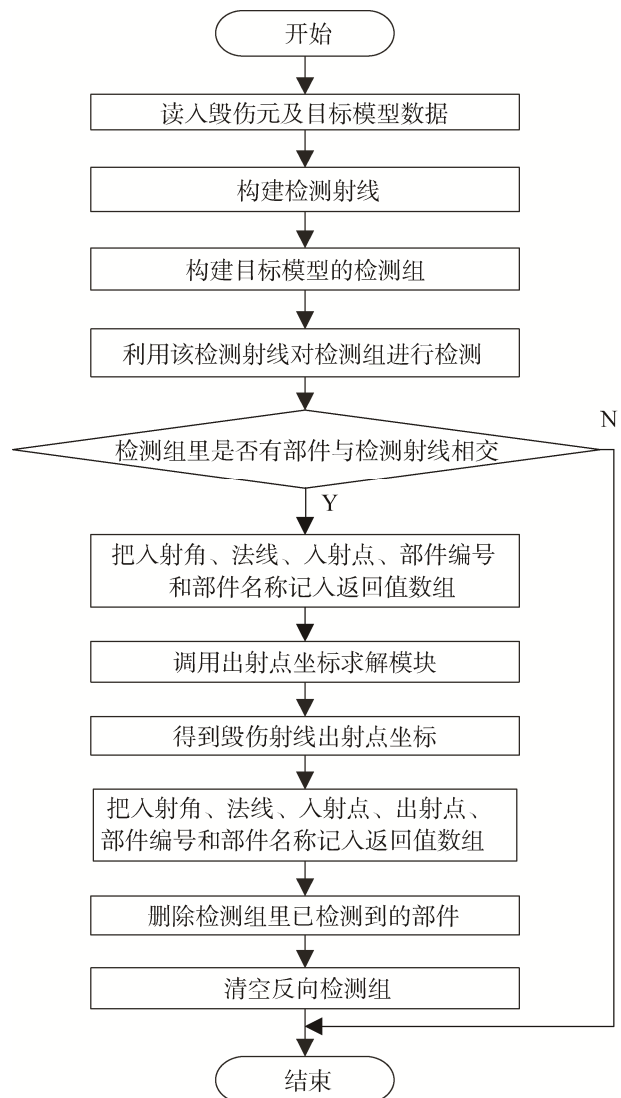


图10 形成射线过程以及与部组件相交的分析过程
Fig. 10 Forming the Ray Process and Analyzing the Process of Intersecting Part Components

3.2 部件毁伤分析模型

装甲装备部组件的结构、材料特征, 以及射流(破片)的损伤能力, 决定部件是否被毁伤。本文衡量部件毁伤, 主要是利用射流(破片)的动能或比动能来判断, 即公式 $e = m^{1/3}v^2/k$, 式中: m 为质量, v 为速度, k 为形状系数。

通过比较射流(破片)的比动能与部组件消耗射流(破片)的比动能, 就能确定装甲装备部组件是否毁伤^[6]。即, $e_s = e_p - e_b$, 式中: e_s 为剩余比动能, e_p 为射流(破片)比动能, e_b 为消耗射流(破片)的比动能。

依据如下方法判断部组件损伤:

如果 $e_s \geq 0$, 表示该部组件毁伤; 如果 $e_s < 0$, 表示该部组件未被毁伤。在部组件的毁伤判断时, 要求沿着每一条射流(破片)杀伤射线方向逐一处于该方向上的每一部件进行分析。

3.3 装甲装备毁伤分析

本文主要是采用基于装备维修工时的方法分析装甲装备的整体毁伤情况。该方法是基于对装甲装备毁伤后的修复以实现恢复其战斗力所需的时间来系统分析。由于确定装甲装备战场抢修时间较为复杂, 涉及工种配备、场地展开等多种因素, 本文主要依据通用装备战损规律数据集中数据来确定装甲装备部组件的维修工时, 表 2 为某型装甲装备部组件的维修工时。

表 2 部组件维修工时表(某型装甲装备—节选)
Tab. 2 The Parts Repair Time of a Certain Type of Armored Equipment (Part)

毁伤部件	维修工时/分	毁伤部件	维修工时/分
输弹机	20.1	自动控制装置	27.4
燃油滤清器	13.4	机油泵	31.2
转向机构	8.7	电源变换器	7.9
...

以装甲装备部组件维修工时为基础, 结合通用装备战损规律数据集中装备毁伤等级评定标准, 装甲装备的毁伤等级就能确定。

4 装甲装备毁伤仿真系统

以弹药威力场数值仿真模型, 目标易损性结构模型, 以及装甲装备毁伤判断模型为基础, 构建装甲装备毁伤仿真系统, 为深入开展装甲装备毁伤仿真分析奠定基础。

4.1 系统基本功能

该系统的基本功能是: 以装甲装备被弹的弹种、着速、入射角等参数为初始输入条件, 计算弹药威力场的数据, 以及确定装甲装备的部件毁伤情况, 结合毁伤部件的维修工时, 得出装甲装备的损伤等级, 并能输出装甲装备部组件毁伤数据表。

4.2 系统结构

图 11 为该系统的组成结构图, 主要由弹药战斗部威力数值仿真系统、装备易损性分析系统、装甲装备毁伤评估系统组成。

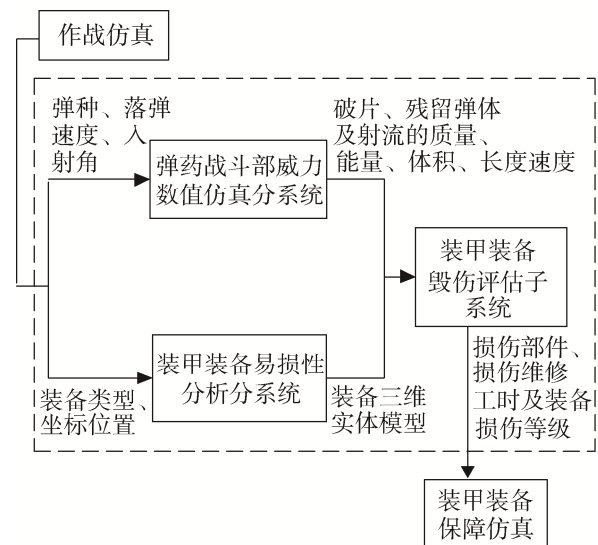


图 11 系统结构框图

Fig. 11 Framework of System Composing

5 应用实例

本文利用装甲装备毁伤仿真系统, 以破甲弹命中某型装甲装备炮塔正面左侧防护装甲后的毁伤分析为例, 其中破甲弹着速为 860 m/s, 入射角为 25°。图 12 中分别为装甲装备防护装甲板和某一型

号破甲弹的有限元数值模型。

经过仿真分析后,某型装甲装备炮塔正面左侧防护装甲被破甲弹射流击穿后产生的射流及破片对车内的部件造成毁伤。图13为利用虚拟现实程序实现射流(破片)杀伤射线与装甲装备内部组件之间的相交情况。图14为系统的输入、输出界面,主要包括初始条件的输入,以及毁伤结果的输出。

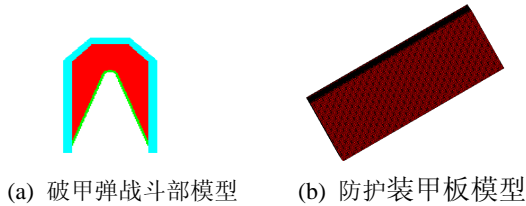


图12 有限元数值模型

Fig. 12 The Finite Element Numerical Model

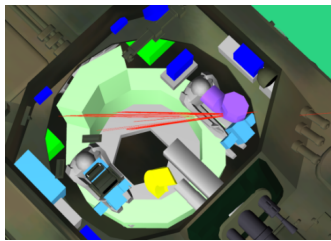


图13 破甲弹金属射流击穿防护装甲后与车内部件相交

Fig. 13 The State of the ray Intersection target in a Certain Type of Armored Equipment

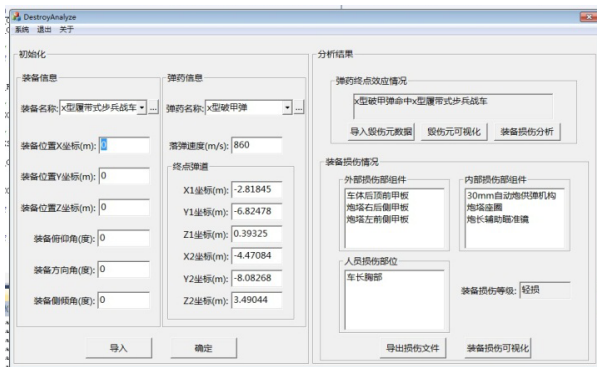


图14 系统界面

Fig. 14 The Interface of the System

6 结论

装甲装备毁伤仿真分析是作战仿真与装甲装备保障仿真的桥梁,是取得可信仿真结果的前提。

本文在装甲装备毁伤原理分析的基础上,采用基于有限元的分析方法,构建弹药威力的数值仿真模型,并进行了仿真分析,其结果与实弹试验数据基本相符,同时结合装甲装备的易损性结构模型,弹目空间交会模型来确定弹药毁伤元是否命中部组件,再依据部组件毁伤判据确定装甲装备的毁伤情况,该方法经验证是可行的,能够为开展装甲装备的仿真研究提供指导。同时,通过构建装甲装备毁伤仿真原型系统,能够开展装甲装备毁伤的部分仿真实验,但装甲装备的毁伤仿真模型及毁伤结果还需要实弹数据作进一步检验。

参考文献:

- [1] 石全,米双山,王广彦,等. 装备战伤理论与技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007:134-136.
Shi Quan, Mi Shuangshan, Wang Guangyan, et al. Equipment war damage theory and technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007: 134-136.
- [2] 王润生. 战场损伤分析过程及存在问题研究[J]. 兵工学报,2004(6):139-142.
Wang Runsheng. Research on the process and problems of battlefield damage analysis[J]. Journal of Weaponry Industry, 2004 (6): 139-142.
- [3] 张国伟. 终点效应及其应用技术[M]. 北京:国防工业出版社,2006:158-160.
Zhang Guowei. End-point effect and its application technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006: 158-160.
- [4] 马宏仁,吴斌. 弹性动力学及其数值方法[M]. 北京:中国建材出版社,2000:54-58.
Ma Hongren, Wu Bin. Elastodynamics and its numerical methods[M]. Beijing: China Building Materials Press, 2000: 54-58.
- [5] 胡亮,王兰美. Soliworks, 3DS MAX 结合 Virtools 实现虚拟现实应用研究[J]. 山东理工大学学报,2010,12(3):103-106.
Hu Liang, Wang Lanmei. Soliworks, 3DS MAX combined with Virtools to realize the application of virtual reality[J]. Journal of Shandong University of Technology, 2010, 12 (3): 103-106.
- [6] 郑振忠. 装甲装备战斗毁伤学概论[M]. 天津:兵器工业出版社,2004:200-201.
Zheng Zhenzhong. Introduction to battle damage science of armored equipment[M]. Tianjin: weapons industry press, 2004: 200-201.