

破片战斗部打击轻型装甲车辆易损性快速计算

龚小康¹, 李翔宇², 王 兴¹, 陈 军¹, 王 硕², 姜文健¹

(1. 湖南云箭集团有限公司, 湖南 长沙 410073;

2. 国防科技大学 理学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 为了能够对战斗部打击下的目标易损性进行快速计算与分析, 基于 C++ 语言和 Qt 编程框架编制了目标易损性快速计算软件。针对破片战斗部打击轻型装甲车辆目标建立了相应的计算模型, 计算得到了破片战斗部单次打击下的轻型装甲车辆目标毁伤情况, 进行了爆点模式下的易损性分析。结果表明: 所开发的快速计算软件计算物理毁伤的可靠性较高, 可大大节约计算资源, 缩短计算耗时; 给定工况下打击目标车辆左右两侧时相对更易造成车辆更高等级毁伤程度。

关键词: 轻型装甲车辆; 破片战斗部; 易损性; 快速计算; 分析软件

中图分类号: TJ811

文献标志码: A

文章编号: 2097-2741(2024)02-011-006

Fast Calculation of Vulnerability of Light Armored Vehicle under Fragmentation Warhead Attack

GONG Xiaokang¹, LI Xiangyu², WANG Xing¹, CHEN Jun¹,
WANG Shuo², JIANG Wenjian¹

(1. Hunan Vanguard Group Co. Ltd, Changsha 410073, Hunan;

2. College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, Hunan)

ABSTRACT: In order to quickly calculate and analyze the vulnerability of target under the attack of a specific warhead, a software for rapid calculation of target vulnerability was developed based on C++ language and Qt programming framework. Furthermore, the corresponding calculation model for the attack condition of light armored vehicles by fragment warheads was established. Accordingly, the damage of light armored vehicle targets under single strikes of fragmentation warheads and the distribution of vulnerability under burst point mode were calculated. Results showed that the proposed fast calculation software has high reliability in calculating physical damage, which can greatly save computing resources and shorten the calculation time. Moreover, under given working conditions, it is relatively easy to cause higher degree of damage to the target vehicle by hitting both sides of the target vehicle.

KEYWORDS: light armored vehicle; fragment warhead; vulnerability; fast calculation; analysis software

收稿日期: 2023-11-11

第一作者: 龚小康 (1998—), 男, 硕士, 主要从事效能评估研究。E-mail: 1149839787@qq.com

引用格式: 龚小康, 李翔宇, 王兴, 等. 破片战斗部打击轻型装甲车辆易损性快速计算[J]. 火箭军工程大学学报, 2024, 38 (2): 11-16.

装甲车辆易损性系指车辆承受某种毁伤手段或特定弹丸破坏时会毁伤的敏感性,其定量表征为目标在受到某种攻击时丧失某种功能的概率^[1]。通过对轻型装甲车辆进行易损性分析,找出轻型装甲车辆的薄弱部位,可以为轻型装甲车辆本身防护设计提供帮助,提高轻型装甲车辆在战场上的生存能力,也可以应用于破片战斗部相关研发以提升其在战场上的打击效果。同时,还可以为战场指挥员在制定作战计划、选择武器种类时提供参考,以便于指挥员快速且科学地制定合理的战术方案。目前,常采用理论分析和软件计算相结合的方法对目标易损性进行分析,且该方法日趋成熟,分析结果已能够满足多数情况的要求^[2-5]。但是,计算耗时长、对算力要求较高则是该方法目前面临的一个瓶颈。随着战场上对时效性的需求日益增加,为了能够快速对目标易损性进行分析计算,本文基于C++语言和Qt编程框架编制破片战斗部打击下轻型装甲车辆目标易损性快速计算软件。同时,在软件中开发爆点计算模式,以支撑给定战斗部打击姿态下的毁伤矩阵计算。

1 目标易损性快速软件开发流程

目标易损性分析的目的是计算分析目标在给定武器打击下发生功能毁伤的难易程度。其中,基于快速算法的目标易损性分析,主要是结合部

件物理毁伤计算公式、功能毁伤判据和目标构效关系,实现对目标易损性的快速计算分析。单次打击计算流程是针对在某一确定位置的单枚破片战斗部打击目标的毁伤结果进行分析,计算流程大致可分为3个模块:弹目交会计算、部件物理毁伤计算、目标功能毁伤计算。如图1所示。

(1) 弹目交会计算模块。基于导入软件的目标信息和用户在软件界面内输入的武器战斗部信息,生成相应的破片场;针对单条破片射击线,遍历其与车辆目标网格模型中各个网格的交会情况,记录相应的交会位置和时间。当遍历完所有网格后,则进一步开展针对该单条破片射击线的部件物理毁伤计算。

(2) 部件物理毁伤计算模块。基于单条破片射击线与各部件的弹目交会信息进行计算。首先,依据该射击线与各部件的交会时间对与各部件的交会先后顺序进行冒泡排序,再基于该排序结果对交会部件进行遍历并计算部件物理毁伤情况。针对部件物理毁伤情况的计算,先记录破片对交会部件的打击信息(打击部件编号、进入还是穿出部件、破片的速度、质量和呈现面积),然后利用Thor公式^[6]判断破片是否能够击穿该部件壳体。若发生击穿则进一步基于Thor公式计算破片侵彻后的质量和速度,并将该质量、速度作为打击下一个交会部件的打击信息;若破片不能击穿相应部件。则认为破片停止运动并且不会继续命中下

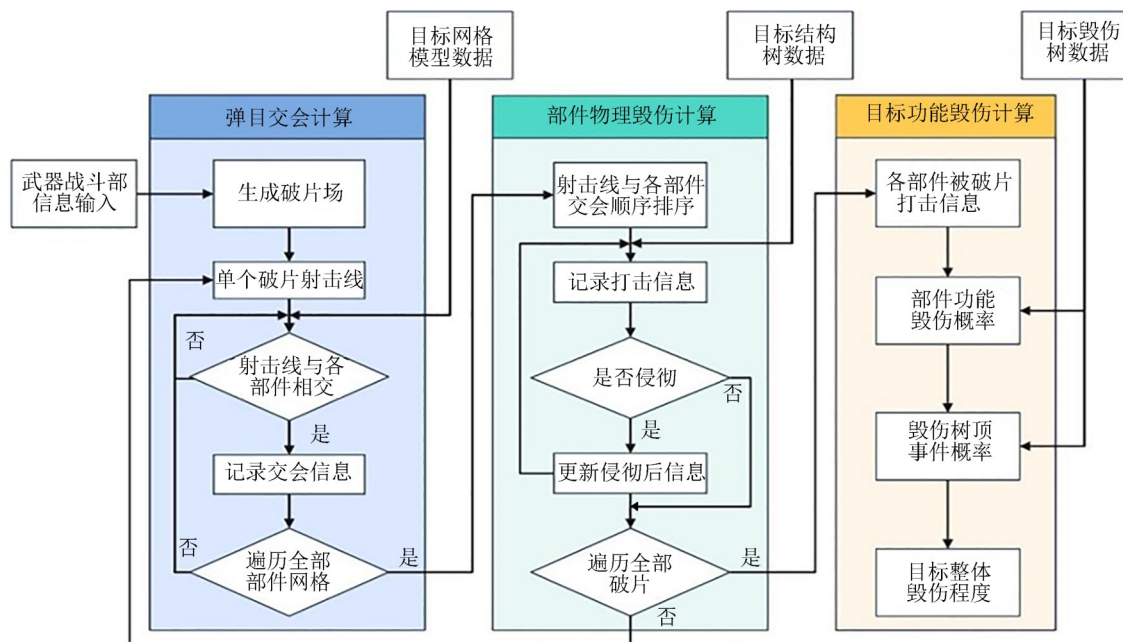


图1 单次打击下毁伤程度核心计算流程

Fig. 1 Core calculation process of damage degree under single strike

一个交会部件。

相应的单条破片射击线计算流程已完成，继续针对下一条破片射击线重复上述弹目交会和部件物理毁伤计算流程。当对破片场的全部破片射击线完成遍历后，即得到目标在单个破片场打击下的物理毁伤情况。

(3) 目标功能毁伤计算模块。针对打击进入部件的单个或多个破片打击信息及各个部件的物理毁伤与功能毁伤映射关系，计算部件的功能毁伤概率；结合目标毁伤等级的定义和毁伤树模型，进一步计算毁伤树顶事件（目标整体特定功能）的毁伤概率，最终给出目标整体毁伤程度。

2 易损性分析计算模型

目标易损性快速分析软件编制完成后，导入打击目标及战斗部的三维有限元模型，设定二者之间弹目交会情况，结合目标各部件毁伤判据及毁伤等级与毁伤树，即可对设定工况下目标易损性进行分析计算。

2.1 目标三维模型

某型轮式轻型装甲车长 5.78 m，宽 2.395 m，高 2.3 m，前后轴距 3.65 m，左右轮距 2.01 m，底盘离地 0.45 m，质量 10.2 t^[7]。利用剩余速度法^[8]将该轻型装甲车辆目标各部件及外壳进行等效处理，得到该目标等效模型如图 2 所示。

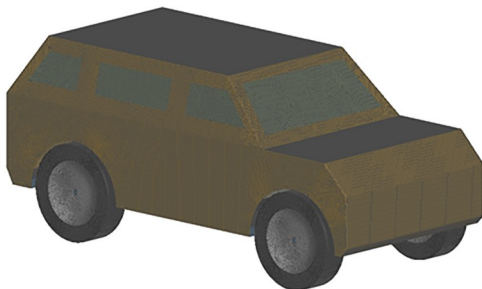


图 2 轻型装甲车辆等效有限元模型

Fig. 2 3D finite element model of light-armored vehicle

2.2 战斗部三维模型

某典型破片战斗部内部为 1.5 kg TNT 圆柱形装药，左右两侧有端盖封装，预制破片与装药之间有一层很薄的衬板将这两者隔开，预制破片排布的外侧是一层壳体。预制破片为 1 200 枚球形钨合金破片，破片半径为 5 mm，其起爆后产生的破片威力场中飞散角为 30°。利用平行射线扫描法^[9]，结合破片的空间射击线方程^[10]得到易损性

分析软件中的射击线和破片场如图 3 所示。

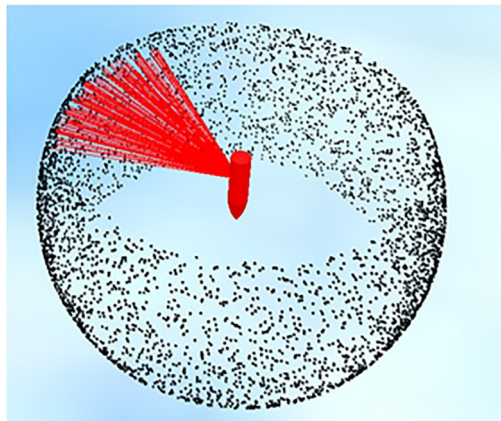


图 3 快速计算软件中生成的破片场和射击线

Fig. 3 Fragment field and shooting lines generated in the fast calculation software

3 目标易损性分析计算

3.1 单次打击下轻型装甲车辆目标毁伤结果

设定战斗部爆点位于轻型装甲车辆目标的正上方 10 m 处，俯仰角为 0°。采用快速计算软件单次打击计算功能进行计算，单次计算用时约 20 s；而采用显式动力学软件 LS-DYNA 计算同样工况下车辆目标毁伤效应需要计算时间约 30 h。表明该快速计算软件可大大节约计算资源，缩短计算耗时。

破片威力场与轻型装甲车辆目标的交会状态如图 4 所示。

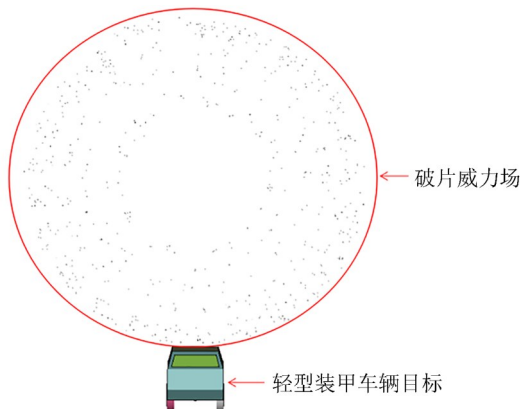


图 4 破片威力场与轻型装甲车辆目标交会状态

Fig. 4 Rendezvous condition of fragment field and light armored vehicle

采用 LS-DYNA 软件模拟计算得到破片场侵入轻型装甲车辆后，车辆外部装甲的毁伤结果如图 5 所示。

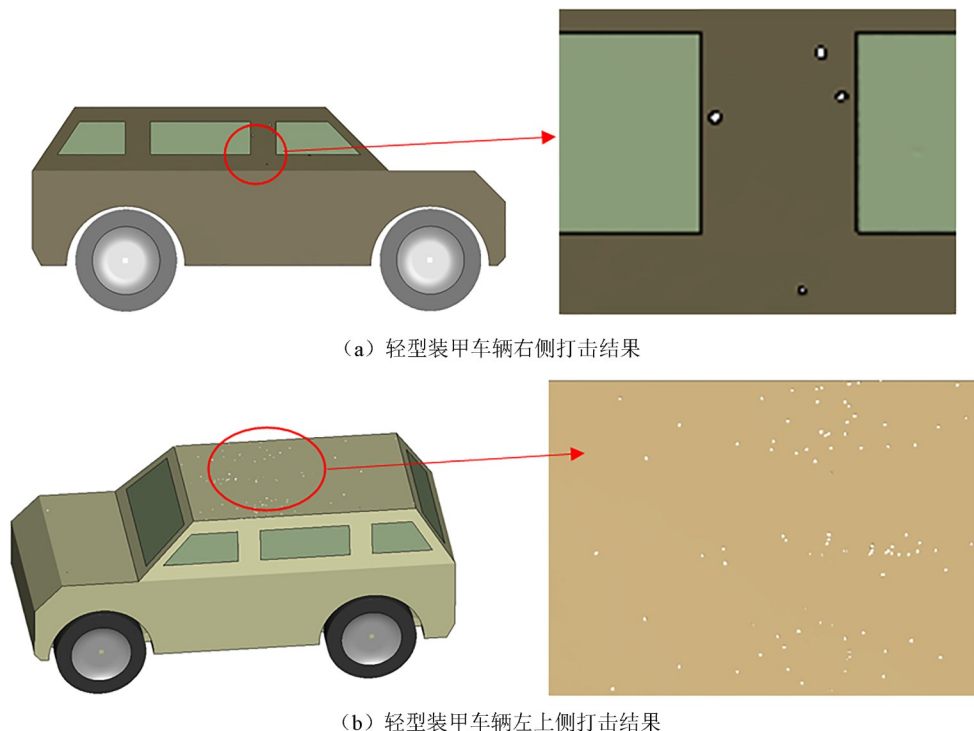


图 5 LS-DYNA 软件仿真计算弹目交汇和毁伤结果

Fig. 5 Rendezvous and damage of warhead and target obtained by LS-DYNA software

由图 5 可以看出, 破片威力场中的破片侵彻轻型装甲车辆目标时, 被破片命中的部分装甲产生变形, 当车辆被侵彻区域的变形过大时破片穿透装甲车辆表面部件进入车辆内部, 并对内部部件进行侵彻, 最终造成轻型装甲车辆目标的上表面装甲及内部部件中产生大量由破片侵彻造成的孔洞缺陷。

在与图 5 相同的工况下, 采用快速计算软件计算得到弹目交会和装甲车辆毁伤情况, 结果如图 6 所示。

对比图 5 和图 6 可以看出, 2 种软件计算得到的穿透破片数分别为 94 枚和 87 枚。两者计算结果差别不大, 说明快速计算软件计算物理毁伤的可靠性较高。

图 6 中, 绿色射击线表示命中车辆的破片的射击线, 没有显示射击线的破片则表示该破片没有命中车辆。此时, 破片战斗部俯仰角为 0° , 战斗部轴身与装甲车辆车身平行。装甲车辆目标处于破片场飞散角中心, 大量破片命中车身及内部部件, 装甲车辆目标最终发生重度毁伤。

3.2 爆点模式下轻型装甲车辆目标易损性分布

为了得到轻型装甲车辆目标在特定战斗部打击下的易损性分布结果, 进一步采用爆点模式对破片战斗部打击结果进行解算分析。

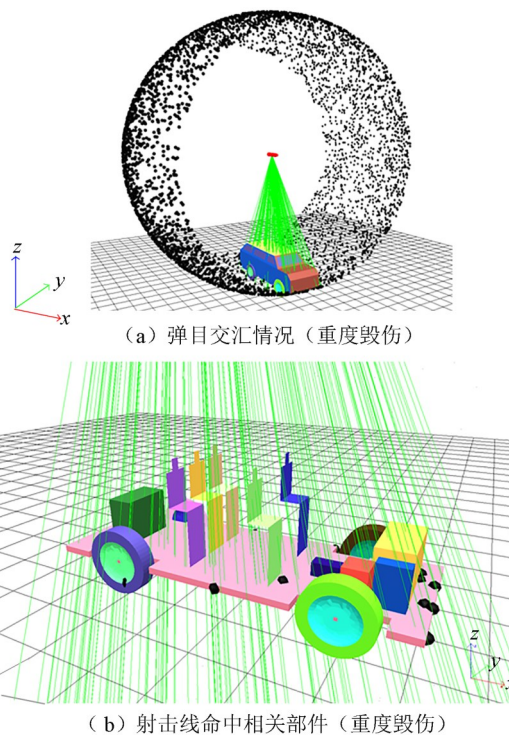


图 6 快速计算软件计算单次打击下弹目交会和毁伤结果
Fig. 6 Rendezvous and damage of warhead and target under a single strike obtained by fast calculation software

爆点位置采用固定爆高 (z 方向坐标) 模式, 爆高设定为 15 m, 爆点水平面上位置设置为以目标 $(0, 0)$ 为中心、120 m $\times$ 120 m 的正方形内,

以 5 m 为间距分别绘制与 x 轴、 y 轴平行的直线, 所有直线上的相交点即各为 1 个爆点。取破片战斗部俯仰角为 0° , 即对应于破片战斗部在装甲车辆上方 15 m 处, 起爆时破片战斗部轴身轻装甲车辆车身平行。爆点布置如图 7 所示。

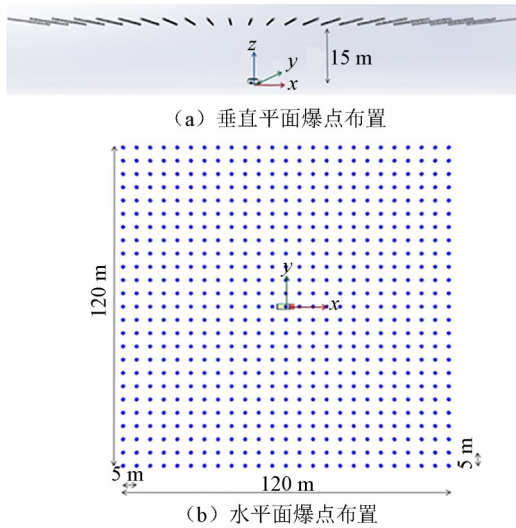


图 7 爆点位置布局

Fig. 7 Layout of burst points

考虑到某爆点同一工况下可能造成的毁伤等级有多个, 为了使计算结果能更直观清晰地表明对应工况下轻型装甲车辆目标易损性分布, 将各工况下计算结果展示分为对应工况下各爆点重度毁伤概率分布、中度毁伤概率分布、轻度毁伤概率分布。计算得到轻型装甲车辆目标各毁伤等级对应概率分布结果, 如图 8 所示。

观察计算结果可知, 车辆目标左右两侧爆点毁伤结果整体呈现一定的对称性, 但在部分对称爆点处达到同一毁伤等级的概率不一致。原因可能是车辆内部大部分关键部件以车辆中心线所在平面为对称面对称布置, 且车辆两侧装甲的厚度(即防护能力)一致, 但像蓄电池、发电机等部分关键部件偏置放置在车辆左侧或右侧。

此外, 还可分析得到: 车辆目标左右两侧爆点的毁伤效果比其余位置的毁伤效果更好, 能造成轻装甲车辆目标毁伤的爆点分布范围更广; 弹目相隔同样距离时, 战斗部在装甲车辆目标两侧时造成高毁伤等级的概率也更高。分析原因可能是: 轻型装甲车辆目标中关键部件较集中分布在车辆前端, 而车辆前方装甲是各个方位装甲中最厚的, 其防护能力最强, 前方爆点飞散出的破片较难穿透前方装甲; 从后方爆点飞散到车辆前端

的破片需要穿透多层部件后才能到达车辆前端, 当破片运动到车辆前端时速度已很低, 甚至很多破片无法穿透多个部件而不能对车辆前端关键部件造成毁伤; 而从车辆两侧爆点飞散出的破片可直接穿透相对较薄的车辆侧方装甲, 并打击车辆前方的关键部件。

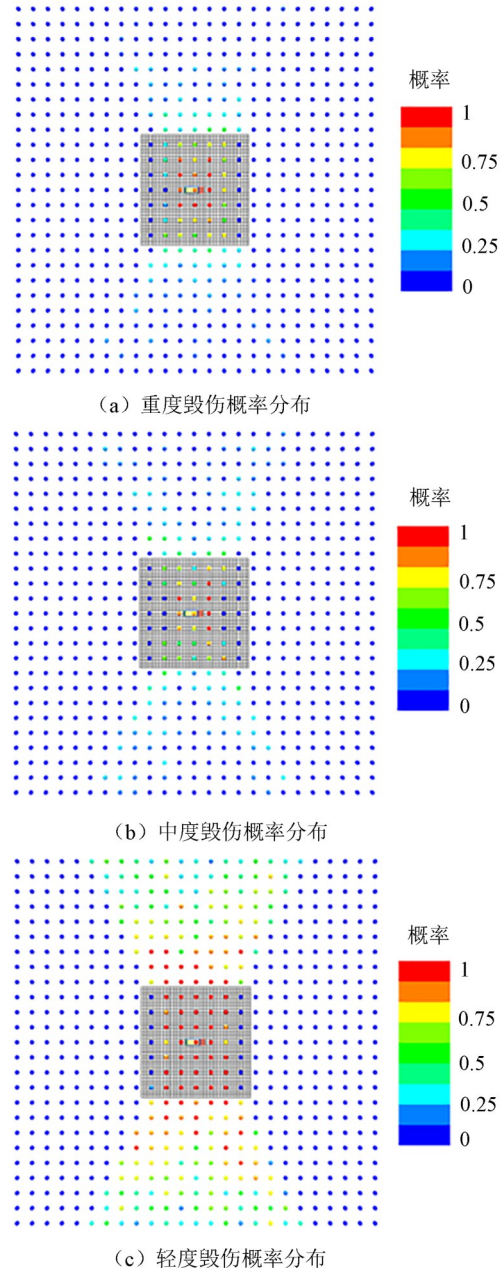


图 8 轻装甲车辆目标易损性分布计算结果

Fig. 8 Calculation results of vulnerability distribution of light-armored vehicles

4 结论

本文基于 C++ 语言和 Qt 编程框架编制了目标

易损性快速计算分析软件。针对破片战斗部打击轻型装甲车辆工况建立了相应的计算模型,并采用所开发的软件计算得到了破片战斗部单次打击下的轻装甲车辆目标毁伤结果和爆点模式下的易损性分布。明确了给定工况下打击目标车辆左右两侧相对更易造成车辆更高等级毁伤程度。该快速计算软件可为开展破片战斗部打击轻型装甲车辆目标及其他战斗部打击其他目标的易损性快速计算分析平台开发提供参考。

参考文献:

- [1] 李向东, 杜忠华. 目标易损性[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2013: 1-2.
- [2] 张高峰. 典型坦克在某破甲弹作用下的易损性评估[D]. 南京: 南京理工大学, 2018: 4.
ZHANG G F. Vulnerability assessment of typical tank under an armor-breaking projectile[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2018: 4.
- [3] 于滨. 破片战斗部对导弹目标的毁伤效能分析[D]. 长沙: 国防科技大学, 2020: 10.
YU B. Damage assessment of fragmentation warhead against missile target[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2020: 10.
- [4] 韩梦妍, 黄炎焱. 面向装甲类目标的火力打击方案毁伤评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(9): 66-72.
HAN M Y, HUANG Y Y. A method for damage evaluation of fire attack schemes for armored targets[J]. Fire Control & Command Control, 2022, 47(9): 66-72.
- [5] 李向荣, 王国辉, 徐峰. 杀爆弹对主战坦克毁伤评估仿真[J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(2): 44-47.
LI X R, WANG G H, XU F. Damage evaluation simulation of blast fragmentation warhead to main battle tank[J]. Journal of Armored Forces, 2009, 23(2): 44-47.
- [6] 卢永刚, 杨世全. 基于 THOR 方程的杆条复杂姿态穿甲分析模型[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(1): 27-30.
LU Y G, YANG S Q. The analytical model of KE-rod piercing armor based on THOR formula[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2005, 25(1): 27-30.
- [7] 钟怡军. 轮式装甲车总体参数匹配与设计[D]. 西安: 长安大学, 2014: 4-5.
ZHONG Y J. Matching and design of the wheeled armored vehicle general parameters[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014: 4-5.
- [8] 曹兵. 不同材质靶板抗破片侵彻等效关系实验研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(4): 113-114, 117.
CAO B. An experimental investigation on the equivalent relation between different armour plates penetrated by fragments[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2006, 26(4): 113-114, 117.
- [9] 应国森, 董桂旭, 肖师云. 基于射击线技术的杀爆战斗部杀伤面积计算[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(11): 20-23.
YING G M, DONG G X, XIAO S Y. Lethal area calculation of blast-fragmentation warhead based on firing line technology[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016, 37(11): 20-23.
- [10] 王海福, 李向荣, 刘志雄, 等. 基于瞄准网格射击线易损性仿真方法[J]. 弹箭与制导学报, 2002, 22(2): 72-75.
WANG H F, LI X R, LIU Z X, et al. The vulnerability simulation method based on aiming grid of shot lines[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2002, 22(2): 72-75.