

doi: 10.7690/bgzdh.2013.03.028

基于 SPH 法的侵彻模拟

郭伟东, 何龙, 左辉

(中国兵器工业第二〇八研究所 北京 102202)

摘要: 为了提高弹丸侵彻明胶靶标的虚拟试验能力, 采用了一种无网格方法 (SPH 法) 来进行模拟计算。建立了弹丸与明胶靶标的有限元模型, 分析模拟了 SPH 法中的粒子密度与弹丸入射角对侵彻速度衰减与侵彻深度的影响, 并得出了满足误差要求的仿真与试验数据对比曲线。结果表明, SPH 方法在处理高速侵彻问题上是一种有效的有限元方法。

关键词: SPH 方法; 有限元方法; 侵彻

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

Penetration Simulating Based on SPH Method

Guo Weidong, He Long, Zuo Hui

(No. 208 Research Institute of China Ordnance Industries, Beijing 102202, China)

Abstract: In order to improve the virtual test capabilities of the projectile penetrating gelatin targets, using a gridless method (SPH method) to simulate the calculation. First, this paper establish a finite element model of the projectile and gelatin targets, to simulate the SPH method in the particle density and the projectile angle of incidence on the penetration speed attenuation and penetration depth, and draw a contrast curve of simulation and test data to meet the error requirement. The results show that the SPH method to deal with the problem of high-speed penetration is an effective finite element method.

Key words: SPH method; finite element method; penetration

0 引言

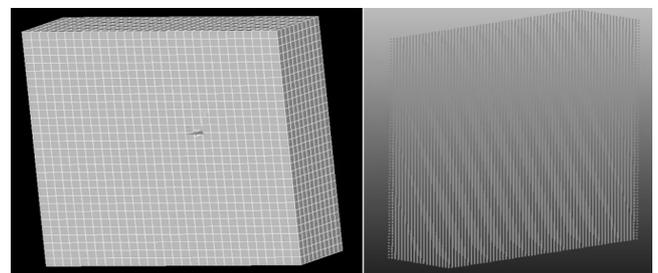
在模拟侵彻问题时, 通常采用的方法如拉格朗日有限元方法存在网格畸变的问题, 尽管网格重分技术可以使用, 但重分次数受到限制, 而且多次重分不能保证物理量的守恒^[1-4]。

无网格技术作为有限元之后的又一工程数值分析的利器, 能够解决一些传统数值方法很难解决的问题。其中, 光滑质点动力学法 (smooth particle hydrodynamic, SPH) 是较突出的一种无网格数值方法。由于 SPH 法不用网格, 没有网格畸变问题, 所以能在拉格朗日格式下处理大变形问题, 同时, SPH 法允许存在材料界面, 可以简单而精确地实现复杂的本构行为, 也适用于在高加载速率下材料断裂的难题。基于此, 笔者应用 SPH 方法对菱形破片侵彻明胶靶标进行了初步研究, 并将菱形破片划分为有限元网格, 明胶靶标划分为无网格单元, 以模拟侵彻过程中大应变、高应变率和高压的作用^[5]。

1 SPH 法概述

从计算角度说, SPH 是用有一定流动速度的运动质点集来描述物理流场, 每个质点就是已知流场特性的插值点, 整个问题的解通过这些质点的规则

插值函数得到, 守恒方程用通量或质点内力来等效表达^[6-8]。SPH 法与传统的 lagrange 法网格的对比如图 1 所示。



(a) lagrange 法

(b) SPH 法

图 1 SPH 法与传统的 lagrange 法网格的对比

2 菱形破片侵彻明胶的三维数值模拟分析

本例中的菱形破片采用有限元网格, 由于其变形较小, 故将其设置为刚体以节约计算时间。

明胶的尺寸与实际尺寸保持一致, 并采用 SPH 网格, 根据明胶材料的相关特性试验得出: 使用 elastic_plastic_hydro 材料模型和 linear_polynomial 状态方程来模拟明胶的特性是准确的, 各模型的参数的选取与试验结果一致。

以下针对主要因素对侵彻位移和速度衰减的影响做初步分析比较。

收稿日期: 2012-09-30; 修回日期: 2012-10-23

基金项目: 国防科工局“十二五”基础科研项目

作者简介: 郭伟东(1985—), 男, 江苏人, 硕士研究生, 助理工程师, 从事冲击侵彻与防护研究。

2.1 粒子密度对侵彻位移与速度衰减的影响

由图 2 可以看出,从左至右粒子密度依次加密,不同的粒子密度对侵彻位移与速度衰减的影响如图 3 和图 4 所示。

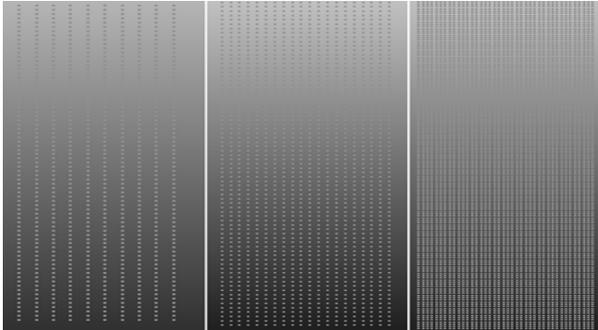


图 2 粒子密度的疏密对比

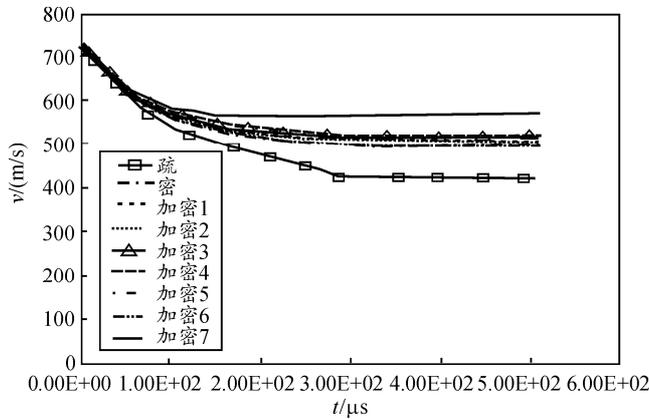


图 3 不同网格密度对速度衰减的影响

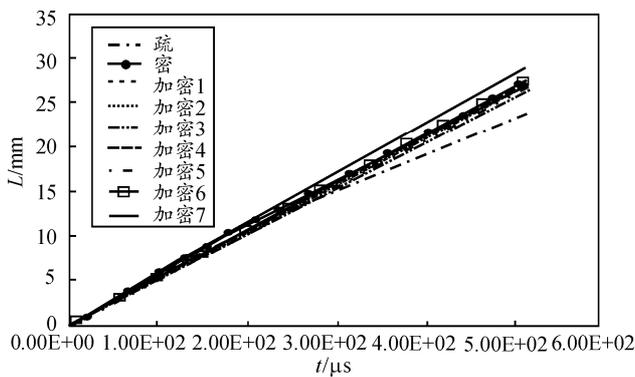


图 4 不同网格密度对侵彻位移的影响

由图 3 和图 4 可以看出,网格疏密对结果的影响较为明显,但是可以看出除了最疏与最密与中间的数据相差较大外,其余结果均处于同一水平上。而不同网格对于运算时间的需求如图 5 所示。

由图 5 可以看出,依据网格“密”的方式进行加密既可以满足精度要求,又可以大幅减少运算时间(“密”的方式为在 X 方向上与有限元网络的单元密度相比加密一倍, Y 和 Z 方向上与有限元网络的

单元密度相比保持不变)。

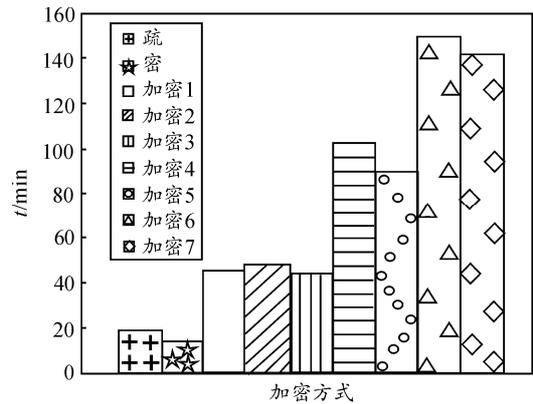


图 5 不同网格所需计算时间的比较

以菱形破片的速度为 850 m/s 侵彻明胶为例,运用如上的粒子加密方式,所得的与试验对比曲线如图 6 所示。由图 6 可以看出,仿真曲线与试验曲线相比数值偏低。

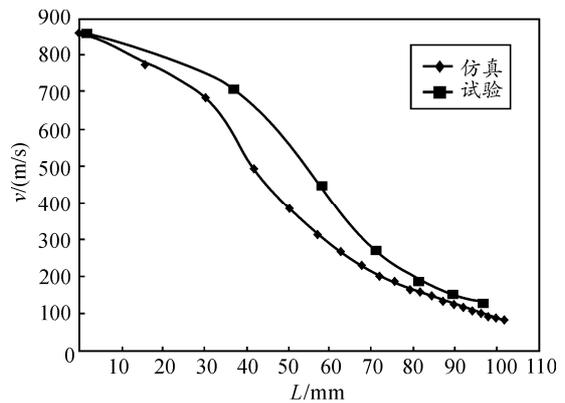


图 6 菱形破片以 850 m/s 的速度侵彻明胶靶标与试验的对比曲线

2.2 破片的入射角对速度-位移曲线的影响

菱形破片的 3 个初始位置如图 7 所示,并将这 3 个姿态作为侵彻明胶的入射角,仿真结果如图 8 所示。由图 8 可以看出,不同入射角对于速度-位移曲线的影响较大,且入射角无法预估,故预测值需要在一定的范围内。

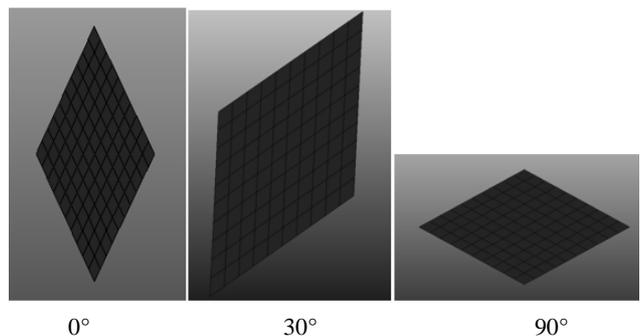


图 7 不同入射角下菱形破片的位置

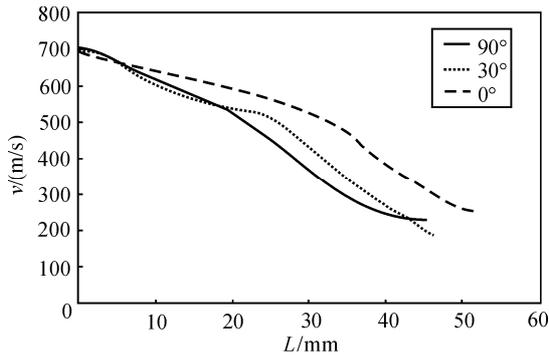


图 8 不同入射角对速度-位移曲线的影响

2.3 破片的速度-位移曲线与试验曲线的对比

通过以上分析可知，图 6 中仿真曲线与试验曲线之间的差距很有可能是由入射角引起的，调整初始入射角为 0° 状态，得到的仿真曲线如图 9 所示。从图 9 可以看出，仿真数据与试验数据的吻合度较好，可以满足相关误差要求。

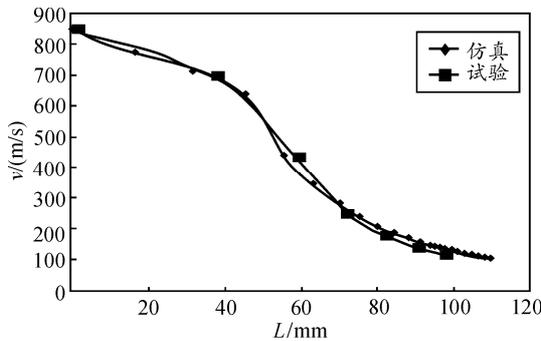


图 9 菱形破片以 850 m/s 的速度(0° 的入射角)侵彻明胶靶标与试验的对比曲线

(上接第 93 页)

参考文献:

[1] 刘纯贵, 陶勇刚. 作战飞机多级机务准备流程优化方法研究[J]. 航空维修与工程, 2006(1): 33-34.

[2] 罗霄斌. 海军航空配套保障装备管理与应用改进研究[D]. 北京航空航天大学, 2005.

[3] 李静龙, 陶勇刚. 飞机机务保障系统的优化设计[J]. 工业工程, 2009, 12(3): 85-88.

[4] 王文秀, 祝华远, 孙鲁青, 等. 机务准备中的保障装备配置优化分析[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(21): 6601-6602.

[5] Chen Haoxun, IHLOW J, LEHM ANN C. A genetic algorithm for flexible job-shop scheduling[C]// Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation. Detroit: IEEE, 1999: 1120-1125.

[6] Chen Jyhorng, Fu Lichen, Lin Minghung. Petri net and GA based approach to modeling, scheduling, and

3 结论

综上所述,通过更改网格密度和入射角等参数,最终得到在误差允许的范围内与试验曲线相吻合的仿真曲线,起到部分替代或者大部分替代相关试验的作用;并同时开展弹丸非侵彻钝击的方法研究,填补国内对于有防护靶标杀伤效应的空白,为我国研发新一代轻武器装备提供必要的支撑条件。

参考文献:

[1] 白金泽. LS-DYNA3D 理论基础与实例分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 185-186.

[2] 曹德青, 恽寿榕, 丁刚毅, 等. 用 ALE 方法实现射流侵彻靶板的三维数值模拟[J]. 北京理工大学学报, 2000(4): 171-173.

[3] 陈斌, 罗夕容, 曾首义. 穿甲子弹侵彻陶瓷/钢靶板的数值模拟研究[J]. 弹道学报, 2009(3): 14-15.

[4] 郝好山, 胡仁喜, 康士廷, 等. ANSYS 12.0/LS-DYNA 非线性有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 355-362.

[5] 宋顺成, 才鸿年. 弹丸侵彻混凝土的 SPH 算法[J]. 爆炸与冲击, 2003(1): 56-58.

[6] 齐振伟, 蔡清裕. 运用率相关连续损伤模型及 FE-SPH 方法模拟混凝土侵彻[J]. 弹箭与制导学报, 2008(4): 88-89.

[7] 尚晓江, 苏建宇, 王化锋, 等. ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与工程实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 208-209.

[8] 李裕春, 等. ANSYS 11.0/LS-DYNA 基础理论与工程实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 434-439.

[9] performance evaluation for wafer fabrication[J]. IEEE Trans. Robot. Automat., 2001, 17(5): 619-636.

[7] Lee D Y, DiCesare F. Scheduling FMS using Petri nets and heuristic search[J]. IEEE Trans. Robot. Automat., 1994, 10: 123-132.

[8] Zhou M C, DiCesare F, Desrochers A. A hybrid methodology for synthesis of Petri Net models for manufacturing systems[J]. IEEE Trans. Robot. Automat., 1992, 8(3): 350-361.

[9] Xiong H H, Zhou M C. Scheduling of semiconductor test facility via Petri nets and hybrid heuristic search[J]. IEEE Trans. Semiconduct. Manufact., 1998(11): 384.

[10] Sun T H, Cheng C W, Fu L C. A Petri net based approach to modeling and scheduling for FMS and a Case Study[J]. IEEE Trans. Ind. Electron., 1994, 41(6): 593-601.

[11] Agerwala T, Choed Amphai Y. A synthesis rule for concurrent systems[C]. Las Vegas, NV: in Proc. 15th Design Automation Conf., 1978: 305-311.

[12] 吴兆慧, 张桂娟, 刘素华. 基于模拟退火算法的聚类分析[J]. 计算机应用研究, 2005(12): 24-26.