

文章编号:1001-5078(2013)07-0740-03

· 激光应用技术 ·

弹体材质对激光销毁弹药影响研究

宋桂飞, 李良春, 夏福君, 肖东胜
(军械工程学院军械技术研究所, 河北 石家庄 050000)

摘要:针对激光销毁弹药,运用 ANSYS 数值模拟方法和单因素数据处理方法,对不同弹体材质对激光辐照销毁弹药温度场进行了仿真研究,结果表明:弹体材质对激光销毁弹药温度场分布影响不显著,对于弹体用钢较多的 60Si2MnA 材质和 D60 材质,激光辐照弹体背面最高温度较为接近。

关键词:弹体材质;激光;弹药销毁

中图分类号:TB441 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.07.005

Influence of projectile material on ammunition disposal with laser

SONG Gui-fei, LI Liang-chun, XIA Fu-jun, XIAO Dong-sheng
(Ordnance Technology Institute, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Aiming at ammunition disposal with laser, it is simulated that the different projectile materials' influence on ammunition disposal temperature field with laser. The simulation is made by using ANSYS numerical simulation method and single factor variance analysis. The results show that the influence of projectile materials on the temperature field distribution of ammunition disposal is not obvious. The highest temperature of projectile backside with laser is close for 60Si2MnA and D60 projectile materials.

Key words: projectile material; laser; ammunition disposal

1 引言

激光辐照销毁危险弹药是一种新型的弹药销毁处理方法。弹体是激光辐照销毁目标弹药时首先接触的传热介质。在激光与弹体相互作用过程中,弹体依靠吸收的激光能量加热弹体,通过传热过程,进一步加热与其接触的弹丸装药。在一定的激光辐照条件下,弹体材质不同,弹体温度场分布亦不同,对弹丸装药的传热作用不同,从而影响激光销毁弹药效果。本文运用有限元热分析理论、单层介质一维传热理论,以具有普遍意义的弹体作为研究对象,对激光辐照下弹体温度场分布进行研究,并运用单因素方差试验方法对影响激光辐照弹体热毁伤的因素进行分析,描述影响激光辐照弹体热毁伤的因素变化规律及趋势。

2 激光辐照弹体温度场仿真流程

通过分析激光辐照弹体热毁伤仿真需求,建立

激光辐照弹体温度场数值模拟流程如图 1 所示。

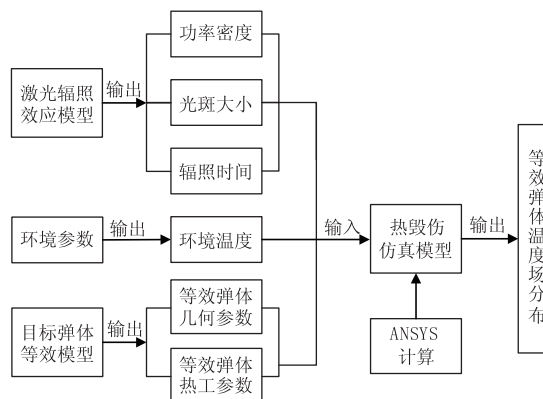


图1 激光辐照弹体热毁伤数值模拟流程

Figure 1 The thermal damage simulation process of laser radiating projectile

激光辐照弹体热毁伤仿真的基本原理和过程

作者简介:宋桂飞(1982-),男,工程师,博士,主要从事军械装备保障研究。E-mail: yzfysgf@126.com

收稿日期:2012-11-18;修订日期:2013-01-19

是^[1]:首先,确定激光辐照弹体热毁伤过程仿真需要输入的激光主要特征参数、目标弹体参数和环境参数。激光主要特征参数指影响激光与弹体材质相互作用的重要因素,主要包括激光功率密度、光斑大小和辐照时间。目标弹体参数是指危险弹药等效弹体的几何参数和材料参数(热传导率、密度、比热容等)。环境参数指弹体在受到激光辐照前的环境温度。然后,根据建立的等效弹体热模型,运用 ANSYS 软件,按照瞬态热分析的基本步骤进行仿真计算。最后,输出仿真求解结果(弹体的温度场分布)。

3 仿真研究

3.1 试验方案

根据弹药设计图纸等有关资料,报废弹药弹体材质主要有 S15A、60Si2MnA、D60、45#钢等多种材质,小口径高炮弹药以 S15A 和 60Si2MnA 材质居多,绝大多数迫击炮弹是铸铁材质,122mm 口径以上弹药以 D60 居多。本节选择 60Si2MnA、D60 和 45#钢三种弹体钢,在其他影响因素一定的情况下,通过调整弹体材质相关参数,研究弹体材质对激光辐照弹体所形成的温度场分布的影响情况,弹体钢相关性能参数如表 1、表 2、表 3 所示,试验方案如表 4 所示。

表 1 弹体材质有关参数

Table 1 Some parameters of projectile material				
参数 材质	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	泊松比	正弹性模量 /GPa	切变弹性模量 /GPa
60Si2MnA	7.74	0.29	206	79.9
D60	7.84	0.295	207	80
45#钢	7.81	0.3	212	81.6

表 2 弹体材质热导率

Table 2 Thermal Conductivity of projectile material					
60Si2MnA		D60		45#钢	
温度 /℃	热导率/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	温度 /℃	热导率/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	温度 /℃	热导率/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
200	29.308	100	48.57	100	48.15
304	30.145	200	45.64	200	46.47
402	30.982	300	43.12	300	43.96
502	30.145	400	40.19	400	41.45
610	28.889	500	37.68	500	38.10
720	27.633	600	34.75	600	35.17
786	24.402	700	32.24	700	31.82
—	—	800	29.31	800	25.96

3.2 试验结果与数据分析

根据上述试验方案,运用 ANSYS 进行仿真计算,得到激光辐照弹体背面最高温度^[2-4],如表 5 所示,温度场云图及曲线图如图 2 所示。

表 3 弹体材质比热容

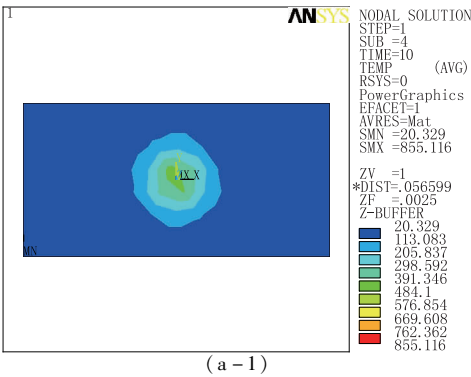
Table 3 Specific heat of projectile material					
60Si2MnA		D60		45#钢	
温度 /℃	比热容 /($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	温度 /℃	比热容 /($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	温度 /℃	比热容 /($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
100	461	100	115	100	115
200	528	200	116	200	116
300	544	400	126	400	126
400	599	600	136	600	136
500	641	—	—	—	—

表 4 弹体材质影响因素分析试验方案

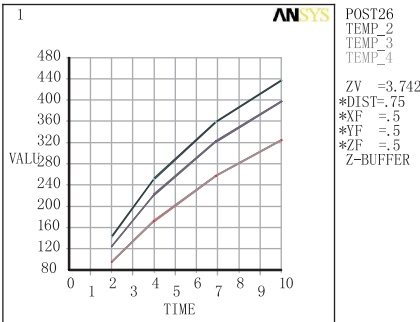
Table 4 The experiment plan of projectile material factor analysis				
方案	试验目的	水平大小	测试点	预设条件
a	分析不同弹体材质对弹体最高温度的影响	60Si2MnA	激光辐照弹体背面的最高温度值	激光功率密度 500 W/cm^2 ; 光斑半径 5 mm ; 弹体壁厚 5 mm ; 辐照时间 10 s ; 环境温度 20°C 。
b		D60		
c		45#钢		

表 5 弹体材质影响因素仿真试验最高温度测量值

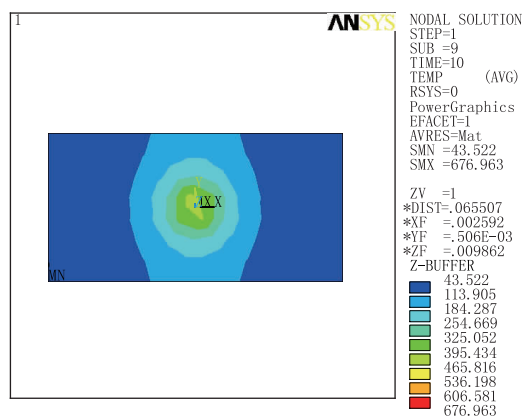
Table 5 The highest temperature value of projectile material factor simulation test			
方案	水平大小	最高温度	平均值
a	60Si2MnA	437.183	386.62
		397.783	
		324.908	
b	D60	425.394	392.51
		400.687	
		351.439	
c	45#钢	524.83	489.68
		498.82	
		445.40	



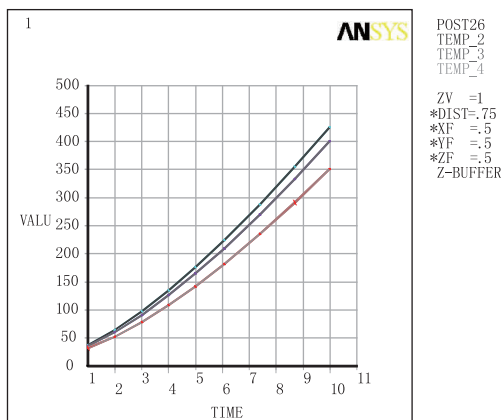
(a-1)



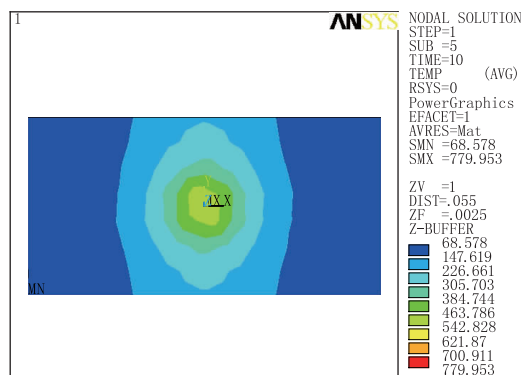
(a-2)



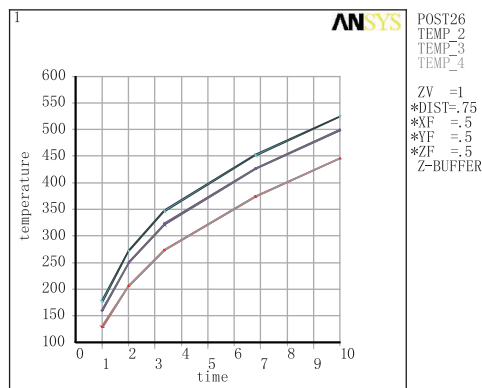
(b-1)



(b-2)



(c-1)



(c-2)

图2 温度场云图及曲线变化图

Figure 2 Counter and time-history graph

采用单因素方差分析方法^[5],根据方差分析有关理论,对计算结果进行数据处理并列成方差分析表,如表6所示。查 F 分布表得 $F_{0.95}(2,6)=5.14$,而 $F_1=4.78 < F_{0.95}(2,6)$,所以弹体材质是激光辐照弹体热毁伤效应的非显著影响因素,故在表中标上“#”。

表6 方差分析表

Table 6 The diagram of variance analysis

计算项目 方差来源	平方和 S	自由度 f	均方 $\bar{S}$	F 值	显著性
弹体材质的影响	20099	2	10049.5	4.78	#
误差	12604	6	2100.67		

4 结论

采用有限元法和单因素方差分析方法,研究了弹体材质对激光辐照弹体热响应特性的影响,可以得出如下结论:弹体材质对激光销毁弹药温度场分布影响不显著,对于弹体用钢较多的60Si2MnA材质和D60材质,激光辐照弹体背面最高温度较为接近,因此,在激光销毁弹药系统工程设计中可以不考虑弹体材质对激光辐照销毁效果的影响。

参考文献:

- [1] Deng Fanping. Self-study manual of ANSYS 10.0 finite element analysis[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2007. (in Chinese)
邓凡平. ANSYS 10.0 有限元分析自学手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [2] Wang Weiping, Tan Fuli, Zhang Kexing, et al. Ignition threshold of metal covered energetic material by laser beam[J]. Laser Technology, 2001, 25(3): 200-202. (in Chinese)
王伟平, 谭福利, 张可星, 等. 激光对金属背面含能材料的点火阈值[J]. 激光技术, 2001, 25(3): 200-202.
- [3] Zhong Ming, Luo Dawei, Zhu Zuojin, et al. Numerical simulation of temperature field of metal/explosive materials irradiated by laser[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2000, 12(2): 137-140. (in Chinese)
钟明, 罗大为, 朱作金, 等. 激光辐照金属/炸药复合介质温度场的数值模拟[J]. 强激光束与粒子束, 2000, 12(2): 137-140.
- [4] Jiao Luguang, Zhao Guomin, Chen Minsun. Modeling of temperature rise of steel plate irradiated by laser[J]. Laser Journal, 2010, 31(1): 25-27. (in Chinese)
焦路光, 赵国民, 陈敏孙. 激光辐照下金属圆板温升的数值模拟研究[J]. 激光杂志, 2010, 31(1): 25-27.
- [5] Zhao Xuanmin, Xu Wei, Shi Yimin, et al. Mathematical statistics[M]. Beijing: Sciences Press, 2002. (in Chinese)
赵选民, 徐伟, 师义民, 等. 数理统计[M]. 北京: 科学出版社, 2002.