

基于过载冲击下的针刺延期火工品性能

张周梅¹, 王培勇¹, 申依林², 张晔¹, 王国强¹, 贾玉馨¹, 徐拴劳¹, 樊龙龙¹

(1. 陕西应用物理化学研究所, 陕西 西安 710061; 2. 空军驻西北地区军事代表室, 陕西 西安 710043)

摘要: 采用分离式霍普金森压杆(SHPB)技术研究了过载冲击对针刺延期火工品性能的影响, 利用工业 CT 技术对针刺延期火工品结构损伤进行了分析, 结果表明, 过载冲击对针刺延期火工品结构损伤与性能影响有明显不同, 过载后装药界面发生位移, 发火感度降低, 延期时间变短, 精度变差, 但能量输出变化不大。

关键词: 材料力学; 过载; 霍普金森杆; 针刺延期火工品; 性能

中图分类号: TJ55 ; O341

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.05.020

1 引言

针刺延期火工品是攻坚弹药与侵彻战斗部中常用火工品之一, 在过载冲击状态下针刺延期火工品会由强应力波作用导致火工品受到破坏、早爆或失效, 同时还出现延期精度下降、串火以及延期失效等现象。邓琼等^[1]采用 Hopkinson 压杆实验技术研究了火工品及含能材料的抗高过载能力, 雷鸣等^[2]对耐高过载延期电雷管设计进行了研究, 奥成刚等^[3]对桥丝电雷管抗高过载性能检测与加固设计进行了研究, 提高了桥丝电雷管抗高加速过载能力。总之, 目前火工品的研究重点是如何提高抗高过载能力以及过载冲击下火工品的性能变化。而针刺延期火工品抗高过载性能研究的报道还较少^[4-5]。因此, 为满足新一代武器装备技术的需求, 研究过载冲击与针刺延期火工品性能的关系就显得尤为重要。本文利用分离式霍普金森压杆(SHPB)技术对针刺延期火工品性能与抗高过载能力进行了研究, 为将来引信用高过载针刺延期火工品的研究提供一定的理论依据。

2 实验部分

2.1 实验样品制备

在实验过程中, 以针刺延期火工品为试样, 以相同

的装药序列, 将 20 mg 的针刺药、50 mg 的点火药、120 mg 的硼系延期药以及 70 mg 的输出药以 0.15 MPa 装药压力压制在直径为 $\Phi 7.68 \times 7.0$ mm 的管壳中, 针刺延期火工品的产品装配如图 1 所示。

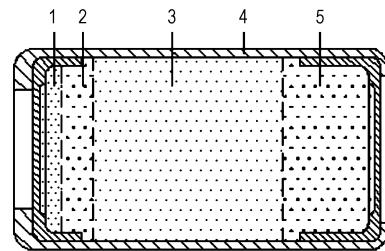


图 1 针刺延期火工品装配图

1—针刺药, 2—点火药, 3—延期药, 4—壳体, 5—输出药

Fig. 1 Assembly drawing of stab delay initiating device

1—stab composition, 2—amorce, 3—delay powder, 4—hull, 5—output powder

2.2 实验装置及条件

采用 SHPB 试验装置对针刺延期体进行过载冲击试验, Hopkinson 杆是以压缩空气作为动力源, 通过压缩空气发射子弹, 同轴撞击 Hopkinson 杆的一端, 从而在导杆内产生近似于半正弦的压缩应变脉冲, 应变脉冲沿导杆纵向传播, 传递到固定在 Hopkinson 杆另一端的试验件上。SHPB 试验装置原理图如图 2 所示。该试验装置中, 入射杆、透射杆和子弹均为直径 14.5 mm 的钢杆(65Si2MnWA), 子弹为圆柱形, 长为 300 mm。试样通过夹具固定在入射杆端面上, 经轴向输入方向加载冲击所受应力最大峰值约为 600 MPa, 加速度加载波形如图 3 所示。

收稿日期: 2012-09-20; 修回日期: 2012-12-18

作者简介: 张周梅(1977-), 女, 高级工程师, 主要从事高新高火工品研究与管理。e-mail: wpy213@126.com

通讯联系人: 王培勇(1976-), 男, 工程师, 主要从事高新高火工品及药剂研究与开发。e-mail: wpyyr@126.com

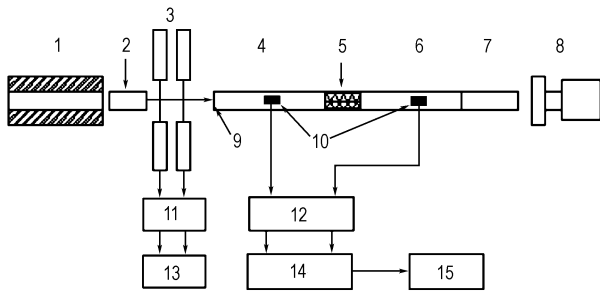


图2 分离式霍布金森压杆实验装置原理图

1—气枪, 2—子弹, 3—平行光源, 4—输入杆, 5—试样, 6—输出杆, 7—吸收杆, 8—能量吸收块, 9—波形整形器, 10—应变片, 11—测速电路, 12—超动态应变放大器, 13—测试仪, 14—波形存储器, 15—信号采集系统

Fig.2 Schematic diagram of Hopkinson Pressure Bar

1—air gun, 2—projectile, 3—parallel, 4—incident bar, 5—sample, 6—transmission, 7—absorption bar, 8—energy absorption, 9—pulse shaper, 10—strain gauge, 11—speed measuring electrocircuit, 12—super dynamic strain gauge, 13—time measuring device, 14—pulse shaper, 15—signal acquisition system

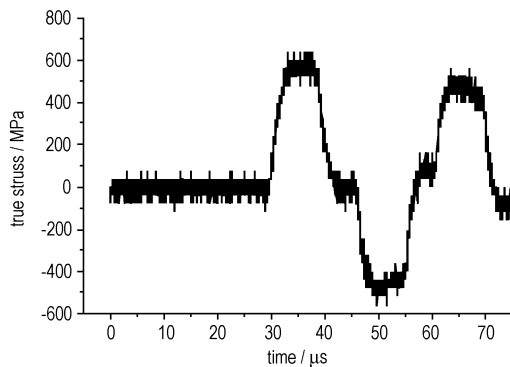


图3 SHPB 实验应力加载波形图

Fig.3 Stress waveforms of Split Hopkinson Pressure Bar

3 结果与讨论

3.1 过载冲击对针刺延期火工品装药结构的影响

采用 SHPB 对针刺延期火工品装药结构损伤进行分析,研究了过载前后针刺延期火工品装药细微损伤、密度的变化,对针刺延期火工品过载前后进行了 CT 检测,结果见图 4。从过载前后 CT 图可以看出,过载后火工品装药出现局部疏松,各层装药分层界面处产生波动、孔隙与位移,特别是点火药与延期药界面处药面波动较大,表明针刺延期火工品装药在冲击条件下会产生疏松、孔隙、位移和裂纹等损伤,进而对针刺延期火工品的性能产生影响。

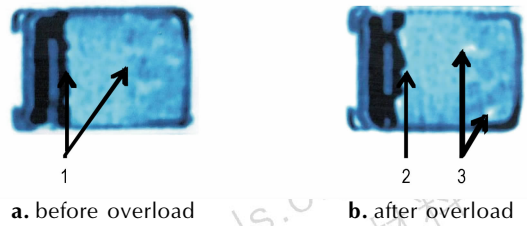


图4 过载前后针刺延期火工品 CT 图

1—药剂界面, 2—位移, 3—孔隙

Fig.4 X-ray CT of stab delay initiating device before and after overload

1—interface initiating device charge, 2—displacement, 3—hole

3.2 过载冲击对针刺延期火工品发火感度的影响

本实验按落球式针刺雷管试验进行。以落球高度和落锤质量为刺激量,落锤质量为 100 g,试验量为 10 发,调节落锤高度测试产品是否发火,用兰利法^[6]进行发火感度性能计算。针刺延期火工品在过载冲击前后发火感度数据处理及计算结果见表 1。

表1 过载冲击前后针刺延期火工品发火感度实验结果

Table 1 Sensitivity of Stab delay initiating device before and after overload

product status	$\hat{\mu}_0$ /mm	$\hat{\mu}_{0.999}$ /mm	$\hat{\mu}_{0.1}$ /mm	standard deviation
before overload	12.5	17.22	7.78	3.03
after overload	19.29	26.52	12.05	2.34

Note: $\hat{\mu}_0$ is 50% initiating sensitivity, $\hat{\mu}_{0.999}$ is 99.9% initiating sensitivity, $\hat{\mu}_{0.1}$ is 0.1% initiating sensitivity.

从实验结果可以看出,同样的装药条件下,过载冲击对针刺延期火工品发火感度影响有所差异。过载后针刺延期火工品发火感度在降低,其 50% 的发火感度达到 19.29 mm,比过载前降低约 54%。这是由于针刺延期火工品针刺药以及其他火工药剂压制在管壳中,随着过载冲击载荷的不断增大,其内部装药会发生压缩、脆裂和药剂抛射等现象,导致其装药密度和感度发生变化。当前有关火工药剂起爆过程的理论大都认为起爆是由于压缩的情况下在火工药剂内局部“热点 (hot spots)”的形成而导致的^[7-8]。如果过载冲击下火工药剂密度变大,火工药剂颗粒之间的孔穴尺寸越小,能形成的热点尺寸就越小,难以形成热点点火,所需的起爆能量越高。另外,火工药剂密度越大,火工药剂颗粒之间的能量可渗透性越小,造成起爆所需的能量就会越高^[8]。因此过载冲击后针刺延期火工品发火感度降低。

3.3 过载冲击对针刺延期火工品延期时间的影响

采用 SHPB 进行试验, 分析研究了过载冲击对针刺延期火工品延期时间的影响, 过载前后延期时间试验结果见表 2。由表 2 数据可以看出, 过载前后针刺延期火工品延期时间存在显著差异, 过载后针刺延期火工品延期时间的平均值变短, 精度变差, 散布变大。

表 2 延期时间试验结果

Table 2 Test results of delay time

product status	test number	delay time/ms			
		max	min	average	relative deviation
before overload	10	143.7	120.7	127.4	0.18
after overload	10	151.7	101.2	115.3	0.44

3.4 过载冲击对针刺延期火工品输出的影响

为了研究过载冲击载荷对针刺延期火工品能量输出的变化, 采用 GJB5309.18-2004《火工品试验方法》中铅板试验, 用试样爆炸后铅板(3 mm)上穿孔大小表示雷管的轴向输出, 间接表示试样能量输出的变化情况。在相同的条件下, 压制针刺延期雷管, 按落球式针刺雷管试验(WJ/Z208)进行试验, 连续试验 5 发, 试验前后铅板炸孔见图 5, 试验结果见表 3。

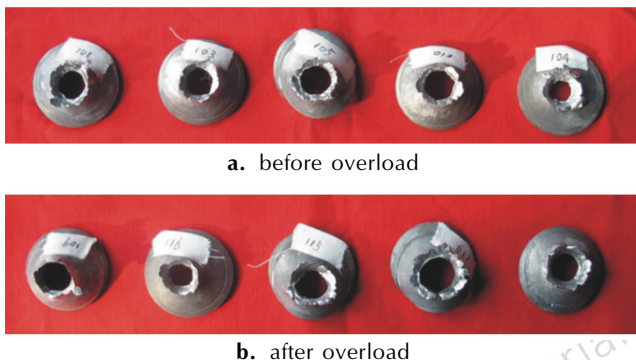


图 5 过载前后铅板炸孔图

Fig. 5 blast hole pictures before and after overload

表 3 针刺延期火工品输出性能测试结果

Table 3 Test results of energy output of stab delay initiating device

product status	test number	average diameter of perforation/mm	standard deviation
before overload	5	32.1	0.09
after overload	5	34.4	0.18

从试验结果可以看出, 过载冲击载荷对针刺延期火工品能量输出影响不大。这是由于针刺延期火工品输出能量主要与输出药(纯太安, PETN)的装药结构、

装药密度以及作功能力等有关。而且, PETN 安定性好, 爆轰感度比较高, 耐过载性能也远远好于针刺药、起爆药等火工药剂。因此过载冲击对针刺延期火工品能量输出影响不明显。

4 结论

(1) 通过 CT 检测发现, 针刺延期火工品装药在过载冲击下会产生疏松、孔隙、位移和裂纹等损伤, 特别是点火药与延期药界面处药面波动较大, 对针刺延期火工品的性能会产生影响。

(2) 采用 SHPB 试验对针刺延期火工品性能进行了研究, 结果表明, 过载冲击对针刺延期火工品性能的影响有所不同, 过载后针刺延期火工品发火感度降低, 延期时间均值变短, 精度变差, 散布变大, 但是过载冲击对针刺延期火工品能量输出影响不大。

参考文献:

- [1] 邓琼, 叶婷, 苗应刚. 基于 Hopkinson 压杆实验技术研究火工品及含能材料的抗高过载能力[J]. 火炸药学报, 2009, 32(6): 66-70. DENG Qiong, YE Ting, MIAO Ying-gang. Study on overloading-resistibility of initiator and energetic materials based on the technique of hopkinson pressure bar[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2009, 32(6): 66-70.
- [2] 雷鸣, 高艳, 刘文灏. 耐高过载延期电雷管的设计[J]. 含能材料, 2010, 18(1): 63-67. LIE Ming, GAO Yan, LIU Wen-hao. Design of electric delay detonator withstanding a high acceleration impact[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(1): 63-67.
- [3] 奥成刚, 任炜, 白颖伟, 等. 商弘藻某桥丝电雷管抗高过载性能检测与加固设计[J]. 含能材料, 2012, 20(3): 349-354. AO Cheng-gang, REN Wei, BAI Ying-wei, et al. Performance determination and structure reinforced design of detonator in high acceleration overload environments[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(3): 349-354.
- [4] Liebhart, Joset. Detonator system for hochschock and allgemeine anwendung: DE4214327[P]. 1993.
- [5] Paul J, Bryan. Shock-resistant delay detonator: USP4696231[P]. 1987.
- [6] 李国新, 程国元, 焦清介. 火工品实验与测试技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004. LI Guo-xin, CHENG Guo-yuan, JIAO Qing-jie. Experiment and test technique of initiators and pyrotechnics[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2004.
- [7] Miller P J, Coffey C S, Devost V F. Heating in crystalline solids due to rapid deformation[J]. *Journal of Applied Physics*, 1986, 59(3): 913-916.
- [8] Stepanov V, Krasnoperov L N, Elkina I B. Production of nanocrystalline RDX by rapid expansion of supercritical solutions[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2005, 30(3): 178-183.

Performance of Stab Delay Initiating Device under Overload Shock

ZHANG Zhou-mei¹, WANG Pei-yong¹, SHEN Yi-lin², ZHANG Ye¹, WANG Guo-qiang¹, JIA Yu-xin¹, XU Shuan-lao¹, FAN Long-long¹

(1. Shanxi Applied Physics and Chemistry Research Institute, Xi'an 710061, China; 2. The Air Force Military Representative Department of Northwest Area Bureau, Xi'an 710043, China)

Abstract: The Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) test was used to study the performance of stab delay initiating device affected by overload shock. The structural damage of stab delay initiating device was analyzed by CT. Results show that performance and structural damage of stab initiating device are distinctly different after overload test. When the interface of initiating device charge moves, the delay time becomes short, and the sensitivity of stab delay initiating device decreases after overload, the energy output does not change much.

Key words: material mechanics; overload; Hopkinson bar; stab delay initiating device; performance

CLC number: TJ55; O341

Document code: A

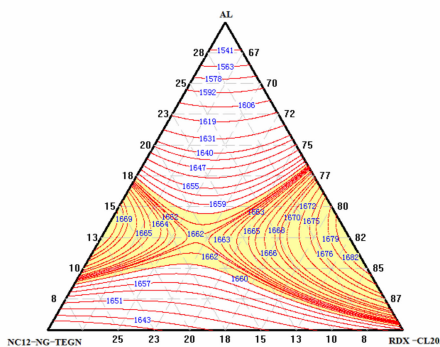
DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.05.020

读者·作者·编者

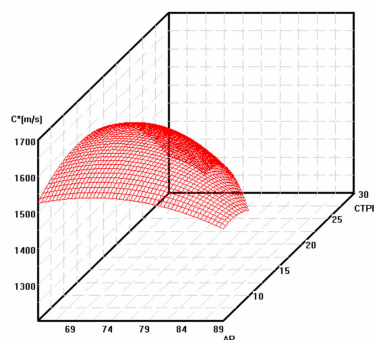
《固体推进剂配方优化设计》新书简介

由国防科学技术大学田德余教授编著的《固体推进剂配方优化设计》近期将由国防工业出版社出版,该书为火炸药技术系列专著,共 327 页。这是首次出版配方优化设计方面的专著,其内容新颖深入,具有多项独特创新,不少已应用于科研实际中,对提高我国在推进剂领域的科学技术水平具有重要意义。

人们在进行各种设计工作时,总是力求从各种可能的方案中选择最优方案。推进剂的比冲大小直接影响火箭和导弹的射程,为此,多年来人们广泛应用优化设计和图象法寻找最高能量特性的最佳配比。该书概述了能量特性计算的原理和方法,阐述了多种优化设计和图形处理方法,首次用遗传算法结合工艺实际实现了 3~8 种配方组份的能量特性优化设计,能迅速地优化出最高比冲下固体推进剂的最佳配比;同时设计和开发了等性能三角图、三维立体图、二维等高图等,形成了能快速、准确进行能量特性计算、优化设计和图形绘制的大型软件包,能形象、直观地反映出推进剂组份与性能的关系。其典型图形如下:



NC12-NG-TEGN/RDX-CL20/Al 等特征速度三角图



CTPB/AP/Al 推进剂特征速三维图

本书共分十一章。前五章概述了推进剂的发展史、能量特性计算原理和方法、多种优化设计原理和方法、简要的图形绘制原理和方法,第六章至第八章对目前使用的硝酸酯增塑的聚醚推进剂(NEPE)、复合改性双基推进剂(CMDB)及复合固体推进剂分别进行优化设计计算及图形绘制,第九章至第十一章探讨了高氮化合物结构与能量特性的关系,选择某些高氮化合物进行高能和高氮无烟推进剂优化计算和图形绘制研究,探讨了近期可实现的高能及高能无烟推进剂的配方和途径。

本书适于固体推进剂研究、生产、使用的科技人员及大专院校相关专业的师生参考。广大化学化工科技人员可借鉴此原理及方法对本专业的化学配方进行优化设计及图形绘制。