

# 陶瓷复合装甲抗爆轰性能试验研究

苗 成<sup>1</sup>, 钟 涛<sup>1</sup>, 李兵伟<sup>2</sup>, 武海玲<sup>1</sup>, 路瑞佼<sup>1</sup>, 白利红<sup>1</sup>, 袁 威<sup>1</sup>, 武 新<sup>1</sup>

(1. 内蒙金属材料研究所, 山东 烟台 264003;  
2. 陆军装备部驻南京地区军事代表局, 南京 210000)

**摘要:**采用装药平面波发生器起爆装药,采用锰铜压阻传感器测量陶瓷复合靶板结构上表面和下表面的冲击压力,发现实验中设计的陶瓷复合装甲结构下表面爆轰压力与上表面相比,衰减了 49.1%,可为陶瓷复合装甲抗爆轰性能的研究提供了理论与技术支撑。

**关键词:**陶瓷复合装甲;抗爆轰性能;平面波发生器;冲击压力;衰减

**本文引用格式:**苗成,钟涛,李兵伟,等. 陶瓷复合装甲抗爆轰性能试验研究[J]. 兵器装备工程学报,2020,41(S1):40-43.

**Citation format:**MIAO Cheng, ZHONG Tao, LI Bingwei, et al. Study on Anti-Detonation Performance of Ceramic Composite Armor[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2020,41(S1):40-43.

**中图分类号:**TJ410.3                      **文献标识码:**A                      **文章编号:**2096-2304(2020)S1-0040-04

## Study on Anti-Detonation Performance of Ceramic Composite Armor

MIAO Cheng<sup>1</sup>, ZHONG Tao<sup>1</sup>, LI Bingwei<sup>2</sup>, WU Hailing<sup>1</sup>,  
LU Ruijiao<sup>1</sup>, BAI Lihong<sup>1</sup>, YUAN Wei<sup>1</sup>, WU Xin<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Metal Material Research Institute, Yantai 264003, China;  
2. Military Representative Bureau of Army Equipment Department in Nanjing, Nanjing 210000, China)

**Abstract:** The plane wave generator was used to initiate the charge, and the manganese-copper piezoresistive sensor was used to measure the impact pressure of the upper and lower surfaces of the ceramic composite target structure. According to the characterization of the test results, it was found that the detonation pressure on the lower surface of the ceramic composite armor structure designed in the experiment was attenuated by 49.1% compared to that on the upper surface. It provides theoretical and technical support for the research on the anti-detonation performance of ceramic composite armor.

**Key words:** ceramic composite armor; anti-detonation performance; plane wave generator; impact pressure; attenuation

陶瓷复合装甲是装甲车辆重要的轻量化附加装甲<sup>[1-2]</sup>。采用陶瓷复合装甲是装甲防护系统减重的有效技术途径<sup>[3]</sup>,其应用形式主要是抗弹陶瓷做面板、具有良好韧性的金属或纤维复合材料做背板,两者之间通过胶粘剂粘接<sup>[4]</sup>。在复合装甲设计时,以往偏重抗弹性能研究。随着未来作战向局部

战争、城市巷战、反恐作战的转变,地雷、简易爆炸装置及高爆炸榴弹等对坦克、装甲运兵车及轻型装甲战车爆炸毁伤的威胁越来越严重。因此,迫切需要研究陶瓷复合装甲的抗爆轰性能<sup>[5]</sup>,获得相关实验数据与规律,为未来新一代高性能轻型装甲车辆装甲的多功能化设计提供技术支撑。

1 试验

1.1 试验装置与试验材料

本试验采用装药平面波发生器起爆装药, 锰铜压阻传感器测量测试靶板结构上表面和下表面的冲击压力, 计算陶瓷复合装甲对爆轰压力衰减情况。试验所搭建的高压测试系统工作原理如图 1 所示, 其主要器件的特性和作用如下:

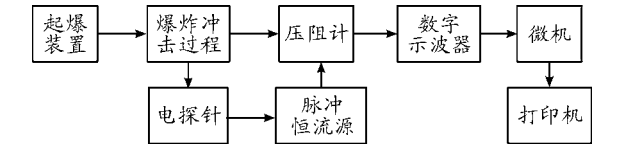


图 1 高压测试系统工作原理框图

电探针采用双胶漆包线制作而成, 其初始连线之间是开路状态, 贴在炸药表面。炸药起爆后, 在高温高压且导电的爆轰产物作用下, 探针被导通, 由开路状态跳变成短路状态, 产生一个断-通信号。这断-通信号触发脉冲恒流源给压阻计提供电流, 使爆炸冲击反应过程、恒流源启动、压阻计采集爆炸信号等工作按时序同步进行。电探针的导通信号取自于测量样品, 它要在压力信号施加于压阻计之前的几个或十几个微秒启动。

脉冲恒流源被探针触发后, 给压阻计供电, 压阻计通电时间在几十或几百微秒, 爆轰压力在这段时间传至压阻计, 产生压力信号。在动高压测试中, 采用脉冲恒流源供电, 有两个优点: 给锰铜压阻计短时间通电, 以降低锰铜丝受热效应的影响; 可以在极短时间内从信号里同时获得  $\Delta U$  和  $U$  两个值。

测量高压时使用的是低阻值的锰铜压阻计, 它的敏感元件尺寸很小。如 H 型锰铜压阻片, 电阻  $0.05 \sim 0.2 \Omega$ , 宽  $0.2 \sim 0.6 \text{ mm}$ , 长  $1 \sim 2 \text{ mm}$ , 厚  $0.02 \text{ mm}$ 。由于冲击的高温高压等破坏作用, 压阻传感器的工作时间很短, 通常只有几个微秒到几十微秒。

实验用装药为  $\Phi 50$  平面波发生器与 TNT 药柱, 如图 2 所示。其中  $\Phi 50$  平面波发生器由  $39 \text{ g TNT}$  与  $40 \text{ g 8701}$  组成。TNT 药柱为圆柱形药饼, 直径为  $\Phi 50 \text{ mm}$ , 厚度为  $20 \text{ mm}$ , 密度约为  $1.6 \text{ g/cm}^3$ 。



图 2 试验用装药照片

将锰铜压阻传感器夹在两个 TNT 压装药柱之间, 测量装药爆轰压力, 测量结果为  $21.3 \text{ GPa}$ , 如图 3 所示的测量曲线与文献结果一致。

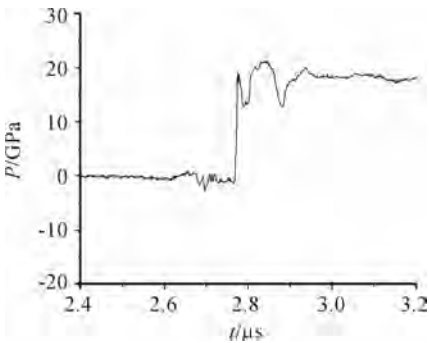


图 3 TNT 装药爆轰压力测量曲线

试验中使用的复合测试靶板长宽规格为  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ , 陶瓷层为 AZ 陶瓷, 背板层为装甲钢, 面密度约为  $143 \text{ kg/m}^2$ , 实测厚度约为  $26.1 \text{ mm}$ , 试样实物如图 4 所示。

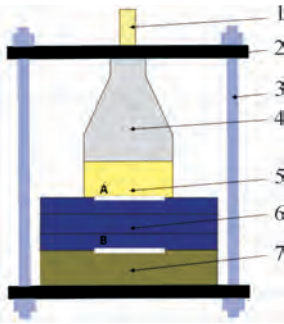


图 4 复合测试靶板试样实物图

1.2 试验方法

试验时分别将  $\Phi 50$  平面波发生器, TNT 药柱, 复合测试靶板, 装甲钢背板安放在两块钢板中间并夹紧, 如图 5 所示, 其作用是将传感器与测试靶板紧密贴合, 减小隙对波传播的干扰, 提高测量精度。

分别测量陶瓷复合靶板上表面和下表面的冲击压力, 当测试靶板上表面压力时, 将锰铜压阻传感器夹在 A 处, 即 TNT 药柱 5 与复合测试靶板 6 之间; 当测试靶板下表面压力时, 将锰铜压阻传感器夹在 B 处, 即复合测试靶板 6 与装甲钢背板 7 之间。其中上、下表面冲击压力测试分别重复两次, 样品标记形式如表 1 所示。



1. 雷管; 2. 钢板; 3. 螺杆; 4.  $\Phi 50$  平面波发生器; 5. TNT 药柱; 6. 复合测试靶板; 7. 装甲钢背板

图 5 试验安装架结构示意图

表1 样品标记汇总表		
样品类型	样品标记	
上表面压力测试	第1次试验	Y-1
	第2次试验	Y-2
下表面压力测试	第1次试验	B-1
	第2次试验	B-2

2 结果与分析

2.1 复合结构上表面爆轰试验结果与分析

试验后收集的 Y-1 残余与背板如图 6 所示,其中左边为背板,右边为被试样品残余。可以看到背板中部的变形较小。

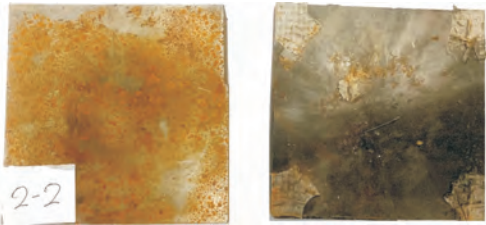


图6 试验后回收的 Y-1 的背板和残余照片

处理得到 Y-1 上表面压力数据如图 7 所示,压力曲线显示,压力起跳后逐渐上升至一定值后出现下降,之后维持一段时间后再一次上升。由图中可以得到 Y-1 上表面 5.874  $\mu\text{s}$  时压力最大值为 27.7 GPa。

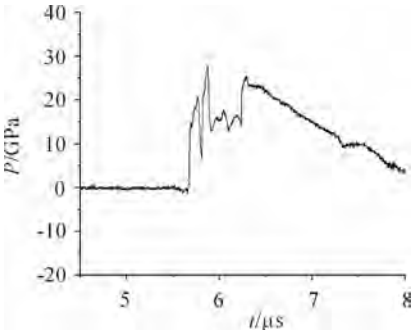


图7 Y-1 上表面压力测量曲线

试验后收集的 Y-2 残余与背板如图 8 所示,其中左边为背板,右边为被试样品残余,背板中部变形较小,与 Y-1 的试验结果一致。

处理得到 Y-2 上表面压力数据如图 9 所示,由图中可以得到 Y-2 上表面 6.288  $\mu\text{s}$  时压力最大值为 26.8 GPa。

2.2 复合结构下表面爆轰试验结果与分析

试验后收集的 B-1 残余与背板如图 10 所示,其中左边为背板,右边为被试样品残余。试验后背板中部只是产生了小变形凹陷。

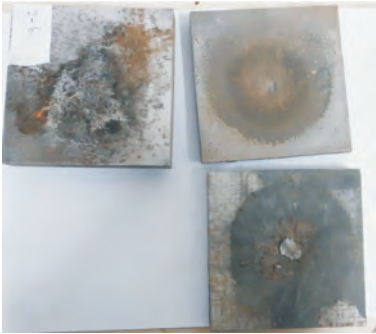


图8 试验后回收的 Y-2 的背板和残余照片

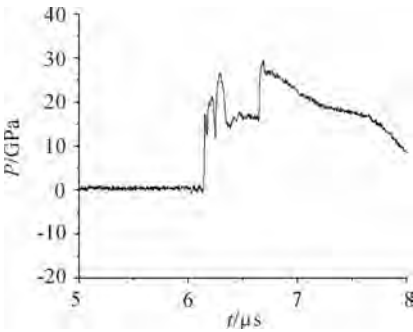


图9 Y-2 上表面压力测量曲线

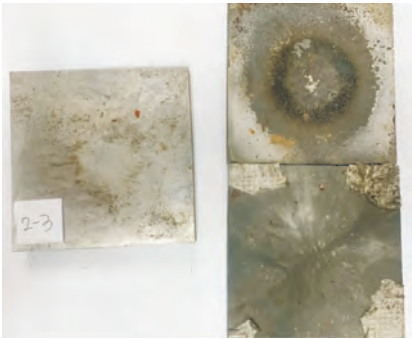


图10 试验后回收的 B-1 的背板和残余照片

处理得到 B-1 下表面压力数据如图 11 所示,图中所示 B-1 对入射的爆轰波能量耗散较为充分,其下表面的压力下降明显,可以得到 B-1 下表面 14.34  $\mu\text{s}$  时压力最大值为 13.6 GPa。

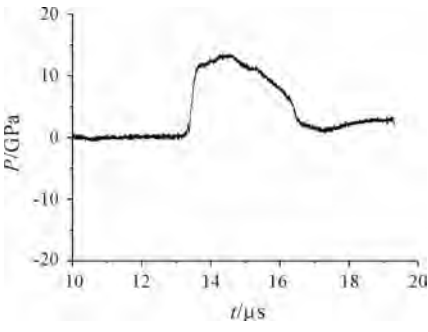


图11 B-1 下表面压力测量曲线

试验后收集的 B-2 残余与背板如图 12 所示,其中左边为背板,右边为被试样品残余,可以看到背板中部产生的变形较小。

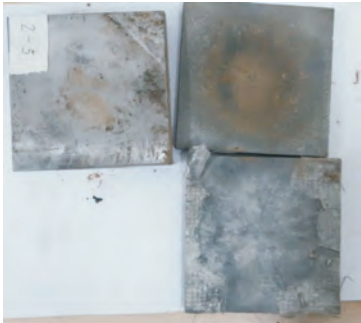


图 12 试验后回收的 B-2 的背板和残余照片

处理得到 B-2 下表面压力数据如图 13 所示,由图中可以得到 B-2 下表面 10.687  $\mu\text{s}$  时压力最大值为 14.1 GPa。

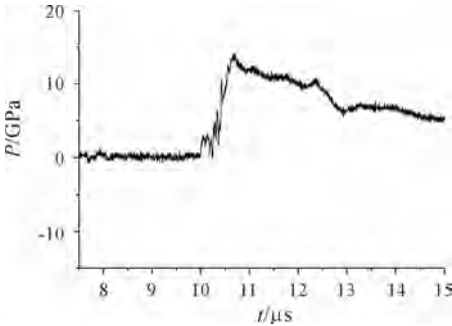


图 13 B-2 下表面压力测量曲线

复合测试靶板试验的工况和结果汇总如表 2 所示。试验得到两个上表面压力,两个下表面压力,两发试验上表面压力相近,平均值为 27.3 GPa,两发试验下表面压力也相近,平均值为 13.9 GPa。与上表面压力相比,试验工况下复合测试靶板的下表面压力衰减了约 49.1%。

表 2 陶瓷复合测试靶板试验结果

样品 编号	TNT 当 量/g	靶板重 量/g	测试 表面	压力/ GPa
Y-1	64.1	1 498.0	上表面	27.7
Y-2	63.7	1 505.8	上表面	26.8
B-1	64.2	1 505.1	下表面	13.6
B-2	63.8	1 506.5	下表面	14.1

3 结论

- 1) TNT 装药的爆轰压力测量值为 21.3 GPa;
- 2) 复合结构上表面的压力峰值约为 27 GPa;
- 3) 本文中设计的陶瓷复合装甲结构对爆轰压力的耗散能力较强,样品下表面压力峰值比其上表面压力峰值有明显的减小,衰减约 49.1%。

参考文献:

[1] 张自强,赵宝荣,张锐生. 装甲防护技术基础[M]. 北京: 兵器工业出版社,2000:37-40.

[2] 杜忠华,赵国志. 子弹垂直侵彻陶瓷/铝合金靶板的理论分析模型[J]. 兵工学报,2001,22(4):447-450.

[3] 董宇. 新型陶瓷复合装甲板的设计与制备研究[D]. 沈阳:东北大学,2008.

[4] 蒋志刚,曾首义,申志强. 轻型陶瓷复合装甲结构研究进展[J]. 兵工学报,2010,31(5):78-85.

[5] 王长利,周刚,马坤. 爆炸成型弹丸对陶瓷材料的侵彻实验研究[J]. 兵器材料科学与工程,2017(3):100-104.

(责任编辑 周江川)