

# 陶瓷复合装甲抗穿甲模拟弹厚度效应研究\*

胡丽萍, 王智慧, 郭 领, 侯圣英, 王 鹏

(中国兵器工业集团第52研究所烟台分所, 山东烟台 264003)

摘要: 试验采用底推式105mm穿甲模拟弹进行, 研究陶瓷的厚度效应对抗穿甲性能的影响规律。采用DOP法评估陶瓷复合装甲的抗弹性能。研究结果表明: 随陶瓷装甲厚度增加陶瓷复合装甲的防护系数降低; 相同陶瓷装甲厚度下, 多层陶瓷复合装甲比单层陶瓷具有更好抗弹性能。

关键词: 陶瓷复合装甲; 厚度效应; 穿甲模拟弹

中图分类号: TJ810.38; TB33 文献标志码: A

## Study on the Thickness Effect of Ceramic Composite Armor

HU Liping, WANG Zhihui, GUO Ling, HOU Shengying, WANG Peng

(Yantai Division of No. 52 Institute of China Ordnance Industries, Shandong Yantai 264003, China)

Abstract: With the 105mm simulated armor piercing (AP) ammunition, this paper focused on investigating the influence of effects of thickness on the ballistic properties of such armors. DOP method was used to evaluate the ballistic properties of composite armors. It was found that properties decreased with thickness however at vertical or large obliquity. Multi-layer ceramic composite armor has more excellent ballistic properties than single-layer armors at same thickness of ceramic composite armor.

Keywords: ceramic composite armor; effects of thickness; simulated armor piercing

### 0 引言

陶瓷材料密度小, 具有比常规装甲钢更高的硬度、抗压强度、耐热性、动态应力性能等, 在目前已知的装甲材料中具有高的抗穿、破甲弹综合防护系数。根据装甲防护基础理论, 随着装甲面板硬度的提高, 装甲的碎弹性能将提高。突破传统重型复合装甲结构设计, 以高硬度陶瓷面板取代装甲钢面板, 充分发挥抗弹陶瓷的高硬度和高抗压强度, 可明显提高陶瓷复合装甲的抗弹性能<sup>[1-2]</sup>。

分析陶瓷抗穿甲弹机理, 陶瓷抗弹过程可分为两个阶段。第一阶段为侵彻开始的着弹阶段, 陶瓷使弹头变形(弹塑性应变能), 陶瓷靶表面破碎而反向飞溅, 陶瓷出现轴向裂纹。这个阶段主要是陶瓷本身的高硬度和高抗压强度起主要作用<sup>[3]</sup>, 防护系数较高。第二阶段为陶瓷的粉碎、摩擦, 陶瓷的碎片对弹体有犁削、自锐作用, 在这

个阶段陶瓷碎块、颗粒对弹体的摩擦和粉碎起主要作用, 防护系数相对较低。

当陶瓷厚度超过一定值后再增加厚度, 陶瓷处于抗弹机理第二阶段的抗弹效益所占比例增大, 陶瓷复合装甲的抗弹系数降低。因此, 通过试验研究陶瓷厚度效应, 对陶瓷复合装甲的优化设计具有重要意义。

### 1 试验设计及结果分析

#### 1.1 试验设计

采用DOP试验方法评估本试验中涉及的陶瓷复合装甲的抗弹性能。弹道试验采用20/25mm弹道炮和1:4.7底推式105mm穿甲模拟弹进行试验, 靶道距离为8m, 弹体着靶速度为1382~1424m/s。靶板采用 $Al_2O_3$ 陶瓷作为面板。

试验采用10mm陶瓷块进行多层复合叠加的设计思路, 制成不同厚度的陶瓷复合装甲。陶瓷复合板由10mm厚正六边形AZ抗弹陶瓷块、

\* 收稿日期: 2008-03-28

作者简介: 胡丽萍(1969-), 女, 内蒙古包头人, 高级工程师, 硕士, 研究方向: 装甲防护。

E 玻纤和丁腈结构胶复合而成,陶瓷复合板两面各有两层玻璃纤维布。这样结构的陶瓷复合装甲,在抗穿甲过程中多层陶瓷逐层破坏,使每层陶瓷尽可能的发挥其整体高硬度和高抗压强度的优势<sup>[4]</sup>。

靶板材料的性能参数如表 1 所示,表 2 为厚度效应的靶试方案。

表 1  $Al_2O_3$  陶瓷性能参数

名称	密度 $\rho/$ ( $10^3 kg \cdot m^{-3}$ )	HRA	抗弯强度 /MPa
$Al_2O_3$	3.95~	89.0~	
抗弹陶瓷	4.15	91.5	$\geq 300$

表 2 厚度效应的靶试方案

方案	陶瓷靶板厚度/mm	倾彻角 $\theta/(^\circ)$
方案一	20	0
方案二	40	0
方案三	60	0
方案四	10	68
方案五	20	68

## 1.2 试验结果与分析

陶瓷复合靶在不同厚度和角度下的靶试试验结果示于表 3 中。

表 3 弹道试验结果

方案	倾彻角 $\theta/(^\circ)$	平均防护系数
方案一	0	2.88
方案二	0	1.98
方案三	0	1.80
方案四	68	3.10
方案五	68	1.81

### 1.2.1 垂直侵彻时

从表 3 中可以看出,垂直侵彻时陶瓷厚度从 20mm 增加到 60mm 时,多层陶瓷复合装甲的防护系数从 2.88 降低到 1.80。未复合情况下单一陶瓷块的厚度效应试验结果表明:陶瓷厚度从 20mm 增加到 80mm 时,陶瓷的防护系数从 2.13 降低到 1.27,见图 1。两种厚度效应试验结果都有随着陶瓷厚度增加防护系数下降的趋势;同时,陶瓷装甲厚度相同条件下,多层陶瓷复合装甲的防护系数明显比单一陶瓷块的防护系数高。

陶瓷厚度增加防护系数下降,是由于弹体在侵彻前面的陶瓷时,冲击应力波(在陶瓷中速度约为 9700m/s)使后面的陶瓷产生了一个超前破

坏区,当弹体侵彻后面的陶瓷时陶瓷已经破碎,只是陶瓷碎块、颗粒对弹体的摩擦和粉碎起主要作用,不能发挥陶瓷整体的高抗压强度的优势。

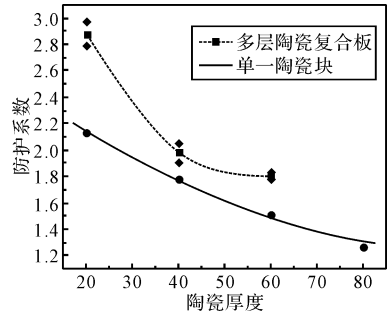


图 1 陶瓷复合装甲的厚度效应试验结果

结果还表明:相同陶瓷装甲厚度下,多层复合的陶瓷复合装甲比单层陶瓷具有更好的抗弹性能。原因是由于玻璃纤维布/丁腈结构胶复合材料层的存在。一方面,复合材料层能有效衰减冲击应力波,减轻冲击应力波对后序陶瓷块的破坏作用,从而使多层陶瓷复合装甲在穿甲过程中逐层破坏,有利于发挥各层陶瓷整体高硬度高抗压强度的抗弹效益;另一方面,复合材料层对陶瓷的约束限制了陶瓷碎块的飞溅(见图 2),使其对弹体进行有效的磨蚀。

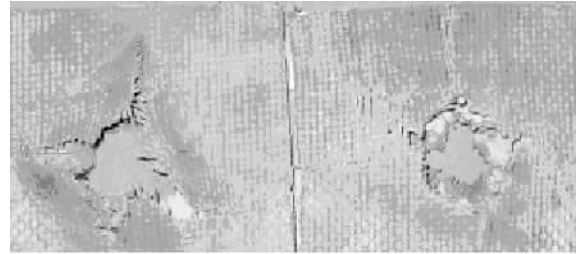


图 2 陶瓷复合板的弹坑形貌

陶瓷厚度效应试验说明,随陶瓷装甲厚度增加陶瓷复合装甲的防护系数降低,相同陶瓷装甲厚度下,多层陶瓷复合装甲比单层陶瓷具有更好抗弹性能,陶瓷装甲厚度应该设计在 20~40mm 为佳。

### 1.2.2 大倾角时( $68^\circ$ )

试验结果表明:在大倾角  $68^\circ$  条件下,陶瓷复合装甲的防护系数也随陶瓷厚度的增加而降低。法线角  $0^\circ$  下,20mm 陶瓷复合板的防护系数为 2.88,在法线角  $68^\circ$  下,20mm 陶瓷复合板的水平厚度为 53mm,相当于增加了陶瓷厚度,因此防护系数降低为 1.81。大倾角情况下,陶瓷复合装甲的防护系数同样随着厚度的增加而降低,10mm 陶瓷复合装甲的防护系数高达 3.10,具有

最好的抗弹性能。

## 2 结论

1) 法线角  $0^\circ$ , 陶瓷板厚为 20~60mm 时, 随陶瓷装甲厚度增加复合装甲的防护系数降低。

2) 法线角  $0^\circ$ , 陶瓷板厚为 20~60mm 时, 相同陶瓷装甲厚度下, 多层陶瓷复合装甲比单层陶瓷具有更好抗弹性能。

3) 大倾角情况下, 陶瓷板厚为 10~20mm 时, 陶瓷复合装甲的防护系数同样随着厚度的增加而降低, 10mm 陶瓷复合装甲的防护系数高达

(上接第 116 页)

统计结果可知, 实验弹的穿甲孔径是穿甲弹的 1.27 倍, 形成的破片数量是穿甲弹的 5.7 倍, 毁伤半径是穿甲弹的 5 倍, 这些数据体现了实验弹在穿甲孔径以及侵彻后效方面的明显优势。

表 2 实验弹和穿甲弹的毁伤效应平均数据

毁伤效应	实验弹	穿甲弹
穿甲孔径/mm	41.5	32.7
有效破片总数/个	42.0	8.3
着靶破片总数/个	109.7	19.0
毁伤半径/mm	463.0	93.3
破片飞散角/ $^\circ$	38	9

注: 穿甲孔径是弹丸穿透钢板的最大孔径; 有效破片是穿透后效靶的破片; 着靶破片是后效靶上有着靶痕迹的破片; 毁伤半径是以后效靶上最大破片的孔心为中心, 其它有效破片穿孔与中心的最大距离; 破片飞散角是由毁伤半径与前后靶垂直距离计算得出。

## 3 结论

对比上述仿真结果与实验结果, 发现仿真得出的穿甲孔径大 5 mm, 且爆裂产生的碎片比较均匀, 这可能与材料应变的选取和网格划分的粗细有关。总体而言, 仿真结果与实验结果比较接近, 都证明了钢壳体 PELE 撞击薄钢板的作用机

理存在撞击较粗、膨胀侵彻和穿靶爆裂三个关键阶段, 弹体在靶后爆裂的破片具有较大的横向飞散速度; 当侵彻薄装甲目标时, 该类 PELE 比同直径常规穿甲弹具有更大的穿孔毁伤和靶后碎片毁伤能力。

参考文献:

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

[2] 赵国志. 穿甲工程力学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992.

[3] 姜春兰, 陈放, 李明, 等. 钨球对陶瓷/复合靶的侵彻与贯穿[J]. 兵工学报, 2001, 22(1): 37-40.

[4] 赵中华, 赵国志, 欧阳春, 等. 多层陶瓷复合轻装甲结构的抗弹性分析[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(2): 148-151.

理存在撞击较粗、膨胀侵彻和穿靶爆裂三个关键阶段, 弹体在靶后爆裂的破片具有较大的横向飞散速度; 当侵彻薄装甲目标时, 该类 PELE 比同直径常规穿甲弹具有更大的穿孔毁伤和靶后碎片毁伤能力。

参考文献:

[1] Paulus G, Chanteret PY, Wollmann E. PELE: A new penetrator concept for generating lateral effects[C] // 21st International Symposium on Ballistics, Adelaide, Australia 2004; 104-110.

[2] G Kesberg. PELE-the future ammunition concept [C]// 21st International Symposium on Ballistics, Adelaide, Australia; IBC 2004; 1134-1144.

[3] G Paulus, V Schirm. Impact behavior of PELE projectiles perforating thin target plates[J]. International Journal of Impact Engineering, 2006(33): 566-579.

[4] 朱建生, 赵国志, 杜忠华. 装填材料对 PELE 效应的影响[J]. 弹道学报, 2007, 19(2): 62-65.

[5] LSTC. LS\_DYNA keyword user's manual (Version 970) nonlinear dynamic analysis of structures in three dimensions[M]. Livermore: Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2003; 613, 818-819.