

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.11.008

纤维增强复合材料对破甲弹的防护性能研究

王玲¹, 黄玉松¹, 汪得功¹, 李宁¹, 郑威¹, 辛培训¹, 章玉斋², 李萍¹, 王学琴¹

(1. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031; 2. 北方材料科学与工程研究院有限公司, 济南 250031)

摘要: 采用真空辅助成型工艺制备纤维增强复合材料。分别以装甲钢、纤维增强复合材料作为轻型反应装甲的面、背板, 考察轻型反应装甲对破甲弹的防护性能。结果表明, 在考察范围内, 复合材料组成的轻型反应装甲的防护性能较好, 其中碳纤维增强复合材料的防护系数可达到 23.9, 并可消除传统反应装甲的二次毁伤效应。

关键词: 复合材料; 真空辅助成型工艺; 轻型反应装甲; 破甲弹; 防护系数

中图分类号: TJ04 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)11-0031-03

Ballistic Performance of Composites against High Explosive Anti Tank

Wang Ling¹, Huang Yusong¹, Wang Degong¹, Li Ning¹, Zheng Wei¹, Xin Peixun¹, Zhang Yuzhai², Li Ping¹, Wang Xueqin¹

(1. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China; 2. CN Material Science and Engineering Technology Group Corporation, Jinan 250031, China)

Abstract: The fiber reinforced composite was prepared by vacuum aided resin transfer molding (VARTM) process. The light explosive reactive armor (ERA), which the facial and the back boards were made from armor steel and fiber reinforced composite, was researched and the ballistic resistance to the high explosive anti tank (HEAT) was studied. The results showed that in the context of the study, the ballistic performance of the light ERA which was prepared by the composites was optimal, the carbon fiber reinforced composite had high ballistic resistance. Compared to steel, the protection factor could reach to 23.9, and could eliminate the second killing effect to the armor completely.

Keywords: composites; VARTM; light ERA; HEAT; protection factor

随着炮弹威力的增强, 炮射导弹的普及及便携式反坦克火箭弹、简易爆炸装置威力的不断提升, 坦克及装甲车辆的防护问题越来越引起各国关注, 如何能够以最小的增重量和体积获得最佳的防护效益, 已成为现代坦克及装甲车辆发展的关键技术^[1-2]。因此, 如何有效提升传统反应装甲的防护效能, 研制具有优良防护效益和良好使用性能的反应装甲已受到世界各国的普遍重视^[3-5]。

为了进一步增强传统反应装甲的防护效能, 笔者前期以纤维增强复合材料作为反应装甲的面、背板, 制备并考察了轻型反应装甲对破甲威力为 200 mm 破甲弹的防护性能, 结果表明, 以碳纤维增强复合材料为反应装甲的面、背板时, 该轻型反应装甲较传统反应装甲的防护性能可提升 30% 以上^[6]。笔者以此为基础, 以破甲威力为 400 mm 的破甲弹为考核用弹, 考察以纤维增强复合材料作为轻型反应装甲面、背板时轻型反应装甲的防护性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

乙烯基酯树脂: MFE-2DS, 工业品, 上海华昌聚

合物有限公司;

高强 2 号玻璃纤维单向布: 面密度为 210 g/m², 常州天马集团有限公司;

高强 4 号玻璃纤维单向布: 面密度为 420 g/m², 常州天马集团有限公司;

玻璃纤维方格布: EWR600, 面密度为 600 g/m², 常州天马集团有限公司;

碳纤维单向布: 面密度为 300 g/m², 中材科技股份有限公司;

装甲钢板: 分别为 603 装甲钢板和进口防弹钢板, 北京钢铁研究院。

1.2 主要仪器、设备

真空泵: 2X 型, 淄博博山富康真空设备厂;

真空烘箱: ZKH- II 型, 大连仪器厂;

数控超高压水切割设备: DPSB9-3040 型, 南京大地水刀设备厂。

联系人: 王玲

收稿日期: 2012-08-28

1.3 试样制备

(1) 轻型反应装甲面、背板用纤维增强复合材料板材的制备

将高强 2 号玻璃纤维单向布按照(0°/90°)_n方式正交铺层,制得预成型体。然后利用真空辅助树脂传递模塑(VARTM)工艺将树脂体系(树脂、固化剂、促进剂的质量比为 100:0.3:0.03)注入预成型体,浸渍、固化,并在 100℃的真空烘箱中后固化 2 h,制得高强 2 号玻璃纤维单向布增强复合材料板材,利用高压水切割设备切割成尺寸为 240 mm×240 mm 的板材。同理,制得高强 4 号玻璃纤维单向布、玻璃纤维方格布、碳纤维单向布增强复合材料板材。

(2) 轻型反应装甲的制备

将 4 mm 厚的 603 装甲钢板和进口装甲钢板采用高压水切割设备切割成尺寸为 240 mm×240 mm 的板材,作为反应装甲的面、背板。采用密度为 1.5 g/cm³ 混合炸药进行装药,装甲四周用螺栓连结,按照面板/装药/背板的结构形式,制备轻型反应装甲。反应装甲用面、背板结构见图 1。同理,分别制备以进口装甲钢板,玻璃纤维方格布、高强 2 号玻璃纤维单向布、高强 4 号玻璃纤维单向布、碳纤维单向布增强复合材料板材为反应装甲面、背板的反应装甲。所制备的反应装甲参数见表 1。

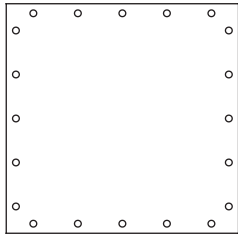


图 1 反应装甲用面、背板结构

表 1 反应装甲参数

项目	方案					
	A	B	C	D	E	F
面、背板材料	603 装甲钢	进口装甲钢	EW600 玻纤	高强 2 号玻纤	高强 4 号玻纤	碳纤维
厚度/mm	4.0	4.0	9.0	9.0	9.0	12.0
反应装甲等钢厚/mmRHA	18	18	15.5	15.5	15.5	15.5

1.4 性能测试

(1) 破甲弹战斗部破甲性能

采用静破甲试验,在一定炸高条件下,测试穿深威力为 360~400 mm 破甲弹战斗部对 603 装甲钢板的侵彻威力。

(2) 防护系数

防护系数是衡量装甲材料防护性能的重要参数,防护系数越高,对应的抗弹性能越好。以防护系数表征所制备的轻型反应装甲对破甲弹战斗部的抗弹性能。防护系数的计算见式(1)。

$$N=[(T_b-T_{wp})\times\rho_g]/(\rho_t\times H_t) \quad (1)$$

式中: N ——防护系数;

T_b ——以标准弹种射击标准均质装甲钢无限靶时的垂直穿深;

T_{wp} ——破甲弹战斗部在后效板上的垂直穿深;

ρ_g ——装甲钢密度;

ρ_t ——复合装甲密度;

H_t ——复合装甲厚度。

2 结果与讨论

2.1 破甲弹战斗部对 603 装甲钢板的侵彻威力

在一定炸高条件下,考核了试验用破甲弹战斗部对 603 装甲钢板的侵彻威力,结果见表 2。

表 2 破甲弹战斗部对 603 装甲钢板的侵彻威力

序号	炸高/mm	603 装甲钢板垂直穿深/mm
1	164	410
2	164	378
3	164	390

由表 2 计算可知,在一定炸高条件下,试验用破甲弹战斗部对 603 装甲钢板的平均垂直穿深为 393 mm,以此作为破甲弹战斗部侵彻标准均质装甲钢半无限靶时的穿入深度。

2.2 以装甲钢作为面、背板时反应装甲的防护性能

在一定试验条件下,考察了以 603 装甲钢板、进口装甲钢板作为反应装甲面、背板时,反应装甲对破甲弹战斗部的防护性能,结果见表 3。

表 3 装甲钢作为反应装甲面、背板时的防护性能

方案编号	后效板的损伤情况	平均垂直穿深/mm
A-1	表面形成 $\Phi 12\text{ mm}\times 53\text{ mm}$ 的弹坑	53
A-2	表面形成 $30\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 60\text{ mm}^{1)}$ 的弹坑	
A-3	表面形成 $45\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 46\text{ mm}$ 的弹坑	
B-1	表面形成 $\Phi 10\text{ mm}\times 39\text{ mm}$ 的弹坑	48
B-2	表面形成 $\Phi 10\text{ mm}\times 58\text{ mm}$ 的弹坑	
B-3	表面形成 $30\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 48\text{ mm}$ 的弹坑	

注:1)长×宽×垂直穿深,下同。

由表 3 可知,以进口装甲钢板作为反应装甲的面、背板时,对应后效板上的垂直穿深较小。

2.3 以纤维增强复合材料板材作为面、背板时反应装甲的防护性能

表 4 列出以纤维增强复合材料板材作为轻型反

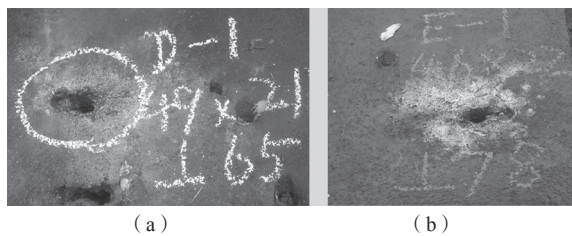
应装甲面、背板时,反应装甲对破甲弹战斗部的防护性能。

表4 以纤维增强复合材料板材作为面、背板时反应装甲的防护性能

方案 编号	后效板的损伤情况	平均垂直穿深/mm
C	C-1 表面形成 50 mm×15 mm×82 mm 的弹坑	82
	C-2 表面形成 60 mm×25 mm×75 mm 的弹坑	
	C-3 表面形成 50 mm×15 mm×89 mm 的弹坑	
D	D-1 表面形成 49 mm×21 mm×65 mm 的弹坑	80
	D-2 表面形成 35 mm×15 mm×85 mm 的弹坑	
	D-3 表面形成 35 mm×15 mm×90 mm 的弹坑	
E	E-1 表面形成 46 mm×22 mm×78 mm 的弹坑	73
	E-2 表面形成 32 mm×15 mm×70 mm 的弹坑	
	E-3 表面形成 30 mm×12 mm×71 mm 的弹坑	
F	F-1 表面形成 40 mm×20 mm×25 mm 的弹坑	29
	F-2 表面形成 40 mm×30 mm×25 mm 的弹坑	
	F-3 表面形成 50 mm×26 mm×37 mm 的弹坑	

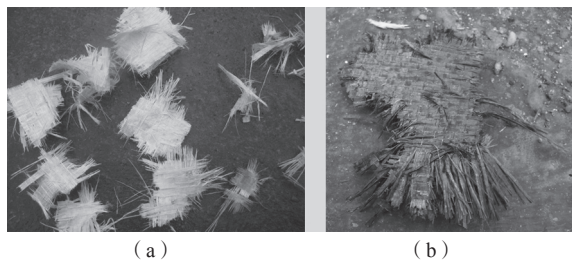
由表4可知,在考察的纤维增强复合材料板材中,以碳纤维增强复合材料板材作为轻型反应装甲的面、背板时,对应后效板上的垂直穿深最小。

图2示出方案D、E反应装甲经破甲弹战斗部侵彻后,对应后效板的损伤情况。图3示出反应装甲经破甲弹战斗部侵彻后,作为面、背板的纤维增强复合材料板材的损伤情况。由图3可知,以纤维增强复合材料板材作为面、背板的反应装甲经破甲弹战斗部侵彻后,纤维增强复合材料面、背板的残余破片较小,无任何杀伤能力,彻底消除传统反应装甲的二次杀伤效应。



a—方案D;b—方案E

图2 方案D、E对应后效板的损伤情况



a—方案E;b—方案F

图3 纤维增强复合材料板材的损伤情况

2.4 不同材料制备的轻型反应装甲对破甲弹战斗部的防护系数比较

根据试验用破甲弹战斗部对603装甲钢板侵彻

威力以及表3、表4的试验结果,按照防护系数的计算公式,计算各反应装甲对破甲弹战斗部的防护系数,结果见表5。

表5 不同轻型反应装甲对破甲弹战斗部的防护系数

项目	方案					
	A	B	C	D	E	F
防护系数	19.3	19.6	20.5	20.6	21.1	23.9

由表5可知,在本试验条件下,进口装甲钢与国产装甲钢对应的反应装甲的防护能力相当;由碳纤维增强复合材料制备的轻型反应装甲对破甲弹战斗部的防护系数达到23.9,较玻璃纤维增强复合材料制备的反应装甲的防护能力约提高16%,较装甲钢的防护能力约提高24%;进口装甲钢、EWR600玻璃纤维和高强2号玻璃纤维增强复合材料制备的轻型反应装甲对破甲弹战斗部的防护能力相当,防护系数在20左右;高强4号玻璃纤维增强复合材料制备的轻型反应装甲对破甲弹战斗部的防护系数达到21以上,比EWR600玻璃纤维和高强2号玻璃纤维对应反应装甲的防护能力略有提升。

3 结论

采用真空辅助成型工艺,制备了纤维增强复合材料板材。以此为面、背板材料,制备并考察了该轻型反应装甲对破甲弹战斗部的防护性能。在所考察的范围内,由碳纤维增强复合材料制备的轻型反应装甲对破甲弹战斗部的防护系数达到23.9,较玻璃纤维增强复合材料制备的反应装甲的防护能力约提高16%,较装甲钢的防护能力约提高24%。以纤维增强复合材料板材作为面、背板的反应装甲经破甲弹战斗部侵彻后,纤维增强复合材料面、背板的残余破片较小,无任何杀伤能力,可彻底消除传统反应装甲的二次杀伤效应。

参考文献

- [1] 郭正祥,步建兴.爆炸反应装甲的发展方向(上)[J].国外坦克,2000(10):26,31-37.
- [2] 郭正祥,步建兴.爆炸反应装甲的发展方向(下)[J].国外坦克,2008(11):31-37.
- [3] 黄正祥,李刚,陈惠武,等.双层反应装甲作用场参数数值模拟与实验研究[J].弹道学报,2005,17(4):40-43.
- [4] 印建云,沈培辉.反应装甲抗弹新机理研究[J].弹箭与制导学报,2006,28(4):137-139.
- [5] 刘宏伟,赵国志,朱建生,等.垂直侵彻反应装甲射流断裂机理研究[J].力学与实践,2007,29(4):63-66.
- [6] 王玲,郑威,辛培训,等.纤维增强复合材料的制备及防护性能研究[J].工程塑料应用,2010,38(10):27-30.