

纤维增强复合材料的制备及防护性能研究

王玲 郑威 辛培训 黄玉松 李 宁 汪得功

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 采用真空辅助成型工艺制备了 EWR600 玻纤织物、高强 2 号玻璃纤维、高强 4 号玻璃纤维、碳纤维增强树脂基复合材料。以复合材料为爆炸反应装甲的面、背板材料,考察了爆炸反应装甲对破甲弹的防护性能。结果表明,在所考察的范围内,碳纤维增强树脂基复合材料对 200 型破甲弹的防护系数可达到 19,对破甲弹射流的损耗达到 90% 以上;与合金钢作为爆炸反应装甲的面、背板相比,纤维增强树脂基复合材料在实现 30% 以上减重的同时,可彻底消除爆炸反应装甲的二次杀伤效应,具有广阔的应用前景。

关键词 纤维增强树脂基复合材料 真空辅助成型工艺 爆炸反应装甲 破甲弹 防护系数

自 1970 年 G·赫尔德博士在德国申请了“爆炸反应式装甲”的专利之后,爆炸反应式装甲得到了高度关注和普遍使用。传统爆炸反应式装甲由钢板(面板)/炸药/钢板(背板)组成,其中炸药块为能源,在破甲弹金属战斗部撞击作用下,炸药爆炸,驱动金属板运动,从而实现对射流的切割、干扰,降低破甲弹的侵彻深度,成为防护破甲弹的有效武器^[1-2]。

目前,爆炸反应装甲主要用到主战坦克或中型装甲车辆上,特别是作为 20 世纪 70 年代以前生产的老式坦克的升级改造措施而得到广泛应用^[3]。但在使用过程中爆炸反应装甲对车辆自身的装甲板造成较大毁伤,容易造成主装甲变形,并对协同步兵产生很大伤害。除了主战坦克,25 t 以下的轻型装甲车辆和自行火炮都很难承受。这使得反应装甲的应用受到一定的局限。

针对以上技术问题,笔者围绕如何有效提升传统爆炸反应装甲的防护效能,降低其对装甲车辆的二次毁伤效应,以玻璃纤维、高强玻璃纤维和高强碳纤维为增强纤维,采用真空辅助成型工艺,制备了高比强度和高比模量的纤维增强树脂基复合材料^[4-5],以此为爆炸反应装甲的面、背板材料,研究了爆炸反应装甲对破甲弹的防护性能,并与合金钢作为爆炸反应装甲的面、背板时的防护性能进行对比。

1 实验部分

1.1 主要原材料

乙烯基酯树脂: MFE-2DS, 上海华昌聚合物有限公司;

环烷酸钴: 市售;

KP100: 市售;

高强 2 号玻璃纤维: 中材科技股份有限公司;
高强 4 号玻璃纤维: 中材科技股份有限公司;
EWR600 玻纤织物: 市售;
碳纤维: 东丽投资有限公司;
合金钢板: 市售;
战斗部: 垂直破甲威力为 200 mm(200 型) RHA 的步兵枪榴弹战斗部。

1.2 主要设备和仪器

真空泵: 东芝大连有限公司;
真空烘箱: ZKH-II 型, 大连仪器厂。

1.3 纤维增强树脂基复合材料的制备

(1) 试验用增强纤维

分别选用具有优良抗弹性能的 EWR600 玻纤织物、高强 2 号玻璃纤维、高强 4 号玻璃纤维和高强碳纤维作为增强纤维,进行了纤维增强树脂基复合材料的制备,增强纤维的物性参数见表 1。

表 1 试验用增强纤维的物性参数

纤维种类	织物类型	面密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
高强 2 号玻璃纤维	单向布 (0°/90°)	400
高强 4 号玻璃纤维	单向布 (0°/90°)	400
EWR600 玻纤织物	正交	600
高强碳纤维	单向布 (0°/90°)	300

(2) 纤维增强树脂基复合材料的制备

将高强 2 号玻璃纤维、高强 4 号玻璃纤维和碳纤维按照 (0°/90°) 正交铺层方式, EWR600 玻纤织物按照平行铺层方式, 根据厚度要求进行铺层设计。

按照树脂 100 份、固化剂 0.3 份、促进剂 0.3 份的质量比配置树脂体系, 通过真空辅助树脂传递模塑工艺制备纤维增强树脂基复合材料, 在 100℃ 的真空烘箱中固化 2 h, 利用高压水刀切割成 240 mm

×240 mm 的试样。

(3) 爆炸反应装甲的制备

以纤维增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲的面板和背板,采用密度为 1.5 g/cm³ 的混合炸药进行装药,装甲四周用螺栓连结,将炸药密封,按照面板/装药/背板的结构形式,制备爆炸反应装甲。

1.4 性能测试

(1) 试验用破甲弹

以破甲威力 200 mm RHA 的步兵枪榴弹战斗部为试验用弹,以 100 mm 厚 603 装甲钢为基础装甲,进行了相应的静破甲试验,试验用破甲弹战斗部如图 1 所示。



图 1 试验用破甲威力为 200 mm RHA 的破甲弹战斗部

(2) 试验用工装的设计加工

为有效定位破甲弹战斗部的作用位置、炸高、法线角等约束条件,开展了试验用靶架及其它工装的加工设计,采用一定厚度的聚丙烯(PP)板设计加工了靶板用侧面约束装置,以玻璃纤维增强复合材料作为试验用盖板,模拟实际应用状态,进行了防护性能试验,具体工装结构见图 2。

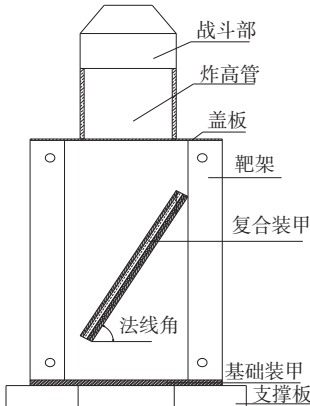


图 2 纤维增强树脂基复合材料防护性能测试工装

(3) 试验方案

制备厚度为 8 mm 的纤维增强树脂基复合材料,研究相同厚度条件下各纤维增强树脂基复合材料对破甲弹的防护性能,试验方案见表 2。

以 2 mm 合金钢作为面、背板制备了传统的爆炸

表 2 试验方案

项 目	方 案			
	A	B	C	D
面、背板材料	EWR600	高强 2 号	高强 4 号	碳纤维
等重钢厚/mmRHA	12	12	12	9

反应装甲,对比了合金钢和纤维增强树脂基复合材料作为面、背板时,爆炸反应装甲的防护性能。

2 结果与讨论

2.1 试验结果

(1) 纤维增强树脂基复合材料的防护性能

以纤维增强树脂基复合材料为爆炸反应装甲的面、背板,考察了该装甲对破甲弹的防护性能,试验结果见表 3。

表 3 纤维增强树脂基复合材料对破甲弹的防护性能

方案	编号	后效板表面损伤情况	平均穿深/mm
A	A-1	20 mm ×27 mm ×±90 mm 的弹坑	88
	A-2	45 mm ×20 mm ×±88 mm 的弹坑	
	A-3	46 mm ×22 mm ×±85 mm 的弹坑	
B	B-1	8 mm ×±28 mm 的弹坑	24
	B-2	55 mm ×30 mm ×±23 mm 的弹坑	
	B-3	10 mm ×±22 mm 的弹坑	
C	C-1	9 mm ×±28 mm 的弹坑	35
	C-2	6 mm ×±35 mm 的弹坑	
	C-3	8 mm ×±42 mm 的弹坑	
D	D-1	40 mm ×30 mm ×±20 mm 的弹坑	25
	D-2	9 mm ×±26 mm 的弹坑	
	D-3	8 mm ×±30 mm 的弹坑	

(2) 合金钢的防护性能

在相同试验条件下,考察了合金钢作为爆炸反应装甲面、背板时的防护性能,结果见表 4。

表 4 合金钢对破甲弹的防护性能¹⁾

方案	编号	后效板表面损伤情况	平均穿深/mm
E	E-1	53 mm ×21 mm ×±88 mm 的弹坑	89
	E-2	35 mm ×22 mm ×±97 mm 的弹坑	
	E-3	55 mm ×22 mm ×±81 mm 的弹坑	

注:1) 等重钢厚为 12 mm。

2.2 试验结果分析

以防护系数为依据,对各试验方案进行了比较分析。防护系数的计算如下:

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

式中: N——防护系数;

T_b ——以标准弹种射击标准均质装甲钢半无限靶时穿入深度;

T_{wp} ——破甲弹在后效板中的垂直穿深;

ρ_g ——装甲钢密度;

ρ_t ——复合装甲密度;

H_t ——复合装甲厚度。

根据表 3、表 4 的试验结果,计算了相等等重钢厚条件下,纤维增强树脂基复合材料及合金钢作为爆炸反应装甲面、背板时对 200 型破甲弹的防护系数,结果见表 5。

表 5 爆炸反应装甲对 200 型破甲弹的防护系数

项目	方案				
	A	B	C	D	E
防护系数	9	15	14	19	8.5

由表 5 结果可知:

①碳纤维增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲的面、背板时,爆炸反应装甲具有很高的防护能力,防护系数达到了 19,对破甲弹射流的损耗达到了 90% 以上。较普通玻璃纤维增强树脂基复合材料的防护能力提高了 30% 以上。

②高强 2 号和高强 4 号玻璃纤维增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲的面、背板时,其对 200 型破甲弹的防护能力相当,防护系数可达到 14 以上。

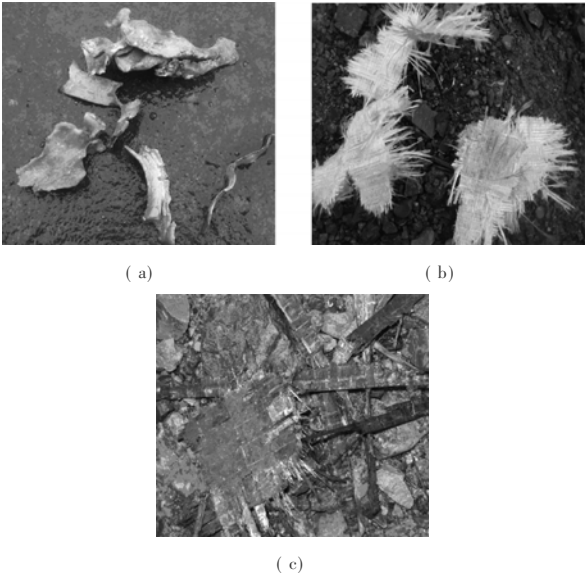
③在所考察的 4 种纤维织物中, EWR600 玻纤维织物增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲的面、背板时,防护系数最低。

④在相等等重钢厚条件下,由合金钢和 EWR600 玻纤维织物增强树脂基复合材料制备的爆炸反应装甲的防护性能相当,而高强 2 号和高强 4 号玻璃纤维增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲的面、背板时,具有更高的防护系数,可提升传统爆炸反应装甲的防护性能。

2.3 爆炸反应装甲二次毁伤效应分析

分别考察了合金钢、纤维增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲面、背板时,爆轰作用发生后,面、背板的损伤情况,见图 3。

由图 3 可知,与合金钢相比,纤维增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲的面、背板时,爆轰作用发生后,纤维增强树脂基复合材料面、背板的残留破片较小,无任何杀伤能力,可部分消除爆炸反应装甲的二次杀伤效应。



a—合金钢; b—玻璃纤维增强复合材料; c—碳纤维增强复合材料
图 3 爆炸反应装甲面、背板的损伤情况

3 结论

采用真空辅助成型工艺制备了纤维增强树脂基复合材料,以此为爆炸反应装甲的面、背板材料,考察了爆炸反应装甲对破甲弹的防护能力。在所考察的范围内,与合金钢作为爆炸反应装甲的面、背板材料相比,高强 2 号、高强 4 号玻璃纤维及高强碳纤维增强树脂基复合材料作为爆炸反应装甲的面、背板时,在不降低防护能力条件下,可实现 30% 以上的减重,并可消除爆炸反应装甲面、背板的二次杀伤效应,具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 步建兴. 俄罗斯装甲防护发展[J]. 国外坦克, 2006(10): 32.
[2] 吴成, 蒋建伟, 冯顺山, 等. 爆炸反应装甲运动规律的数值仿真及研究[J]. 兵工学报, 2002, 23(1): 35-37.
[3] 慧眼. 乌克兰装甲装备防护系统[J]. 国外坦克, 2009(7): 35-37.
[4] 董鹤岑, 凌根华. 高强度玻璃纤维装甲复合材料的研发与应用[J]. 高科技纤维与应用, 2005, 30(5): 41-46.
[5] 韩辉, 李楠. 防弹纤维复合材料及其在武器装备中的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2005, 30(2): 40-42.

STUDY ON PREPARTION AND BALLISTIC RESISTANCE OF FIBER REINFORCED COMPOSITE
Wang Ling, Zheng Wei, Xin Peixun, Huang Yusong, Li Ning, Wang Degong
(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The hybrid fiber reinforced resin matrix composite was filled with high-strength glass, EWR600 glass and high-strength carbon fiber by vacuum aided resin transfer molding process. The ERA was prepared and the ballistic resistance to the 200 shaped charge projectile was studied. The results showed that in the context of the study, the carbon fiber reinforced composite had high ballistic resistance, the protection factor and the loss of the sharp charge could reach 19 and 90% respectively. Compared to steel, the fiber reinforced composite could achieve more than 30% weight loss, at the same time, which could eliminate the second

killing effect completely.

KEYWORDS hybrid fiber reinforced resin matrix composite, vacuum aided resin transfer molding, ERA, HEAT, protection factor

混凝土专用聚酯树脂面世

华东理工大学华昌聚合物有限公司接受国外公司合同委托,日前成功研发了一款混凝土专用不饱和聚酯树脂“美丽坚-0293H”。该材料为邻苯型不饱和聚酯树脂,专用于聚酯混泥土的生产。该树脂的特点是具有高反应活性,对填

料具有良好的浸润性能,树脂含量低,力学性能优异,凝胶时间较短,后固化速度较快。由于其力学性能高,固化性能优异,且性价比高,用于配方混凝土后,可生产各种混凝土管、板、槽、罐、地坪、水沟和建筑装饰件等,应用前景广阔。
(中化报)

欢迎订阅 2011 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等 26 项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2011 年定价 15 元/期,全年 180 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获 6 项省部级优秀期刊奖,被美国化学文摘(CA)收录。2011 年定价 15 元/期,全年 90 元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 我社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2010 年底共 38 卷 254 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2010 年底共 19 卷 77 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 500 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 200 元。

邮局汇款:

收款单位:山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编:250031 传真:(0531) 85947355 85878057
电话:(0531) 85878057 85878223 85878278

银行汇款:

户 名:中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行:济南市工商银行经十一路支行
帐 号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年 份	期 数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986 ~1989	16	0.825	13.2	19
1990 ~1992	12	1.4	16.8	23
1993、1994	10	2.4	24	30
1995	6	2.8	16.8	23
1996	6	3	18	24
1997	6	3.5	21	27
1998	12	3.5	42	48
1999	12	4	48	54
2000	12	5	60	66
2001	12	5.5	66	78(两本)
2002	12	6	72	84(两本)
2003	12	6.5	78	90(两本)
2004	12	7	84	96(两本)
2005	12	7.5	90	102(两本)
2006	13	8	104	116(两本)
2007	12	9	108	120(两本)
2008	12	10	120	132(两本)
2009	12	12	144	156(两本)
2010	12	13	156	168(两本)
2011	12	15	180	180(单册)
合计	225		1100(优惠)	1200(优惠)

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年 份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号 ~1998	9	3	27	33
1999 ~2001	14	4	56	62
2002	6	5	30	72
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	93
2005	6	7.5	45	
2006	6	8	48	108
2007	6	9	54	
2008	6	10	60	66
2009	6	12	72	78
2010	6	13	78	84
2011	6	15	90	90(单册)
合计	83		550(优惠)	600(优惠)