高压物理学报
CHINESE JOURNAL OF HIGH PRESSURE PHYSICS

第 27 卷 第 6 期
2013 年 12 月

高 压 物 理 学 报
CHINESE JOURNAL OF HIGH PRESSURE PHYSICS

Vol. 27, No. 6
Dec., 2013

文章编号:1000-5773(2013)06-0928-08

异型夹层结构复合靶板抗射流侵彻性能研究*

张钟文,黄正祥,祖旭东,贾 鑫

(南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室,江苏南京 210094)

摘要:研究了不同倾角时,折状夹芯倾角为 45°的复合靶板的抗射流侵彻性能。基于射流侵彻复合靶板过程中的能量损失、后效靶剩余穿深以及复合靶板质量防护系数,研究了无天然橡胶填充和有天然橡胶填充两种情况下的靶板性能,分析了具有橡胶填充靶板各组成部分的吸能特性。通过基准弹侵彻后效靶和射流以 60°侵彻具有橡胶填充靶板的实验研究,验证了仿真结论的可靠性。研究表明,具有 45°折状夹层结构的靶板有很好的抗射流侵彻能力,填充橡胶对提高靶板的防护性能是有利的,该结构复合靶板具有优异的防护性能,可以作为一种新型轻型防护装甲。

关键词:冲击力学;夹层结构;射流;抗侵彻性能;质量防护系数

中图分类号:O385;TJ413.2 **文献标识码**:A

1 引 言

随着激光和红外技术的发展,反坦克武器的威力有了极大的提高。装甲的防护趋势已经摆脱了传统的靠增加重量的方式来提高防护能力,转而向轻型化、高性能化发展。夹层结构具有质量轻、整体性能好的优势,因而可用于装甲防护。典型的夹层结构由刚度大、强度高和厚度薄的上、下两块盖板和中间芯层组成。中间芯层的结构具有多种形式,主要有波纹状、蜂窝状、金字塔状等。在横向载荷作用下,其盖板主要承受载荷的弯曲和拉伸,中间芯层主要承受载荷的剪切作用[1]。相对于同等质量的实体板,夹层结构的这种力的分工承载方式有效地提高了结构的强度和刚度,使其广泛地应用于飞机制造业、建筑业以及车辆、舰船的防护上。

目前对夹层结构的研究大多仅限于填充一定材料(陶瓷、金属泡沫等)的夹层结构在冲击载荷(破片、冲击波)作用下的结构动态响应,如:Radford 等[2]对泡沫金属夹层板在泡沫子弹作用下的变形进行了实验研究;Mcshane 等[3]测试了夹层板面层为不锈钢板、芯层为不锈钢板制成的锥形芯体和栅格芯体的夹层结构在泡沫子弹冲击下的响应;赵桂平等[4]模拟和分析了两种厚度不同的泡沫铝合金夹层板(三明治板)、方孔蜂窝形夹层板和波纹形夹层板在冲击载荷下的动态响应;田蓓蓓等[5]从仿真的角度,对具有填充材料的金属格栅结构的冲击问题进行数值模拟;祖旭东等[6]分析了夹层为聚乙烯橡胶的复合靶板的抗射流侵彻性能。针对空心及具有填充材料的夹层结构在射流侵彻作用下的结构性能尚未有相关文章,开展夹层结构在射流侵彻作用下的结构性能研究,对防护聚能装药作用有实际的意义。本研究选取空心及具有天然橡胶填充材料、夹层结构为 45°折状钢板的异型夹层靶板作为研究对象,利用 LS-

* 收稿日期:2011-12-27;修回日期:2012-03-02
基金项目:国家自然科学基金(11072115)
作者简介:张钟文(1988—),男,硕士研究生,主要从事目标损伤与防护、弹丸的终点效应研究.
E-mail:zhongwen22@126.com

© 2013 Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics

DYNA 仿真软件,对射流以不同倾角侵彻夹层靶的情况进行了仿真研究,通过对比,分析具有 45°折状夹层结构靶板的抗射流侵彻性能及填充天然橡胶对靶板性能的影响,利用实验验证了仿真结论的可靠性。

2　仿真模型、材料模型及求解方法

2.1　射流仿真模型及求解方法

为了使研究的射流具有普遍性,聚能装药采用基准弹聚能装药,起爆方式为中心点起爆。基准弹的形状和基本尺寸如图 1 所示。由于聚能装药为圆柱体对称结构,为了简化计算模型,建模过程中采用 1/2 模型。基准弹仿真模型由炸药、药型罩和空气域 3 部分组成,整个射流部分采用欧拉网格建模,单元使用多物质 ALE 算法。

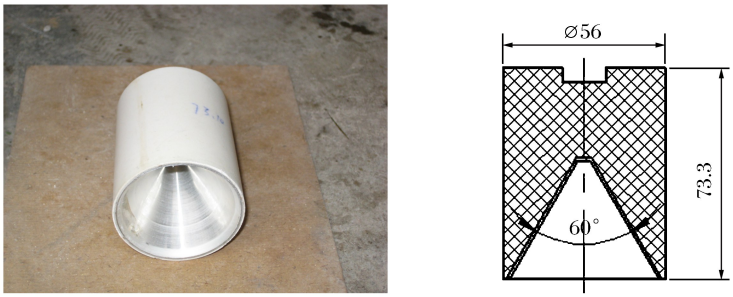

图 1　基准弹形状及基本尺寸

Fig. 1　Picture and dimension of the stander shaped charge

基准弹内的装药为 JH-2[6],对炸药起爆采用 JWL 状态方程进行描述

$$p=A\left(1-\frac{\omega\eta}{R_1}\right)\mathrm{e}^{-R_1/\eta}+B\left(1-\frac{\omega\eta}{R_2}\right)\mathrm{e}^{-R_2/\eta}+\omega\eta\rho_0 e \tag{1}$$

式中:$\eta=\rho/\rho_0$;e 为比动能;e_0 为初始比动能;ρ 为总体材料的平均密度;ρ_0 为参考密度;D 为爆速;A、B、ω、R_1 及 R_2 为常数。基准弹所用药型罩材料为高导无氧铜,材料参数见表 1。

表 1　药型罩与天然橡胶材料参数

Table 1　Material parameters of the shaped charge liner and the rubber

Material	ρ/(g/cm^3)	C_1/(km/s)	S_1	γ_0	
OCHF	7.83	4.569	1.33	2.17	
Material	Shore hardness H_A	σ_b /(MPa)	Elongation at failure/(%)	Tearing permanent deformation/(%)	ρ /(g/cm^3)
Natural rubber	75	20	400	30	0.900-0.955

2.2　靶板仿真模型及求解方法

填充橡胶的 45°折状夹层靶的结构如图 2 所示,其中靶板面板和背板的尺寸为:长 200 mm,宽 150 mm,厚 2 mm;夹层钢板的宽度为 140 mm,厚度为2 mm,倾角 α 为 45°,3 层材料均为 A3 钢;橡胶尺寸根据夹层钢板的形状来确定(填满整个空间),所用橡胶为天然橡胶,中间夹层厚度为 20 mm。

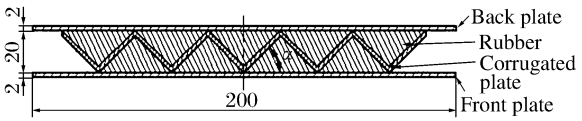

图 2　填充橡胶的 45°折状夹层靶板的结构图

Fig. 2　Sketch of the corrugated sandwich composite armor with corrugation angle of 45° filled with rubber

仿真中弹靶作用关系如图 3 所示,复合靶板长 200 mm,宽 80 mm(1/2 模型);后效靶长 40 mm,宽 40 mm,厚 200 mm;材料为 45 钢。夹层靶和后效

靶均采用拉格朗日网格建模,靶板与空气和药型罩材料间采用流固耦合算法。整个对称面施加滑移约束,夹层靶和后效靶边界处施加全约束,空气域边界设置为非反射边界。

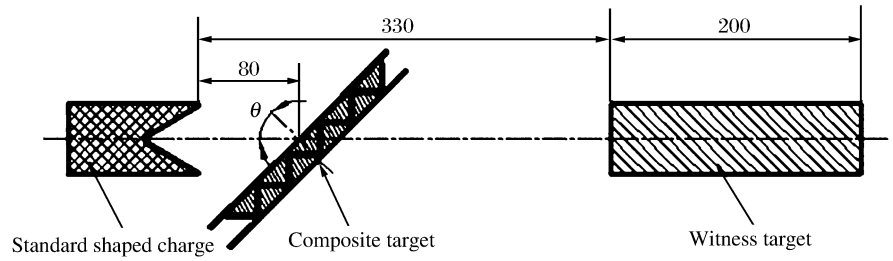

图 3 弹靶作用关系图

Fig. 3 Sketch of the experimental and simulation set-up

天然橡胶采用 Ogden 模型[7],常用参数如表 1 所示。为了能很好地控制天然橡胶在射流侵彻过程中的失效,仿真中利用 LS-DYNA 提供的 9 个相互独立的失效判据中的最大主应变失效,最大主应变 $\varepsilon_{max}=2.5$。

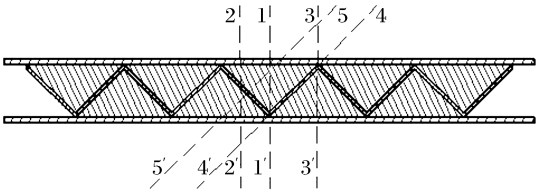

图 4 仿真方案

Fig. 4 Scheme of the simulation

2.3 仿真方案

针对射流以几种常用的倾角侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板和无橡胶填充的 45°折状夹层靶板可能出现的各种情况进行了仿真,仿真方案如表 2 所示。入射角度 θ 是指射流轴向与靶板法向的夹角(如图 3 所示)。

表 2 仿真方案

Table 2 Scheme of the simulation

Target structure	Number	θ/(°)	Penetration path	Target structure	Number	θ/(°)	Penetration path
	A1	0	Showed as 2-2′ of Fig. 4		B1	0	Showed as 2-2′ of Fig. 4
	A1.1	0	Showed as 1-1′ of Fig. 4	Corrugation	B2	30	
Corrugation	A1.2	0	Showed as 3-3′ of Fig. 4	angle of 45°	B3	45	Showed as 5-5′ of Fig. 4
angle of 45°	A2	30		without fillings	B4	60	
filled with	A3	45	Showed as 5-5′ of Fig. 4		B5	68	
rubber	A3.1	45	Showed as 4-4′ of Fig. 4				
	A4	60					
	A5	68					

3 数值仿真结果及分析

对数值计算结果进行射流侵彻靶板损失能量分析、靶板各部分吸能特性分析、射流侵彻靶板后剩余侵彻能力分析及靶板质量防护系数分析。根据倾角效应和夹芯层对射流的影响,分析射流在侵彻靶板时消耗能量变化和射流剩余侵彻能力变化的原因。

3.1 射流侵彻靶板损失能量分析

射流侵彻靶板时射流的能量随着侵彻的进行不断减小,不同倾角下射流侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板和无橡胶填充的 45°折状夹层靶板时射流能量的变化分别如图 5、图 6 所示。

从图 5、图 6 可以看出,射流能量在 20 μs 左右时达到最大值,此时射流基本成型,能量达最大值 59.34 kJ,头部速度为 6 787 m/s。20 μs 之后,射流开始对靶板侵彻,能量逐渐下降。射流侵彻一段时

间后穿出靶板,由于后效靶炸高为 330 mm,因此射流穿出靶板后在空气中飞行,能量相对稳定。当射流到达后效靶时,继续侵彻,能量下降至结束。

当射流垂直入射填充橡胶的 45°折状夹层靶板时有 3 种情况,分别对应图 5 中的 A1、A1.1、A1.2。A1 时射流侵彻路径为背板、橡胶、夹芯板、橡胶、面板,A1.1 时射流侵彻路径为背板、橡胶、夹芯板、面板,A1.2 时射流侵彻路径为背板、夹芯板、橡胶、面板。3 种情况下射流穿过夹层靶后的能量值分别为 46.38、47.87、46.58 kJ,可以看出,射流侵彻双层橡胶比侵彻单层橡胶损失的能量略大,射流先侵彻夹芯板比先侵彻橡胶损失的能量略大,说明夹层结构不同的排布方式可以对射流能量产生不同程度的影响。

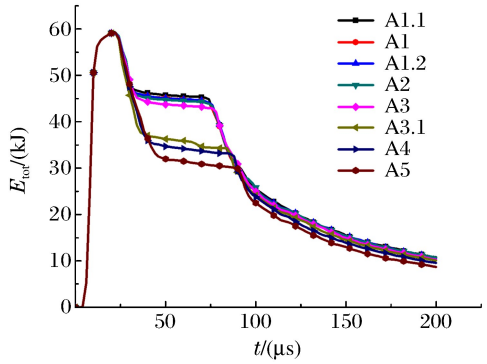

图 5　射流侵彻填充橡胶靶板时的能量变化曲线

Fig. 5　Energy curve of the jet penetrating the composite armor filled with rubber

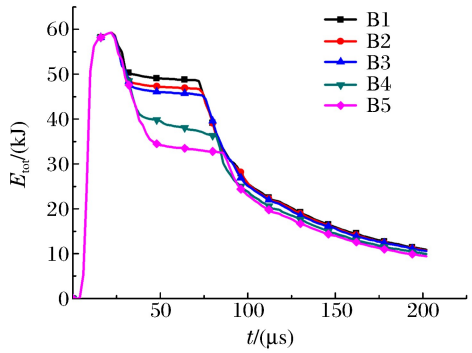

图 6　射流侵彻无橡胶填充靶板时的能量变化曲线

Fig. 6　Energy curve of the jet penetrating the composite armor without fillings

当射流以 45°角入射填充橡胶的 45°折状夹层靶板时有 2 种情况,分别对应图 5 中的 A3、A3.1。A3 时射流侵彻路径为背板、橡胶、夹芯板、橡胶、面板,A3.1 时射流侵彻了路径为背板、夹芯板、面板。两种情况下射流穿过靶板后的能量分别为 44.31、36.83 kJ,可以看出,射流沿着夹芯板方向侵彻,穿过夹芯板比不穿过夹芯板时损失的能量提高了 33%,这是因为钢的密度大于橡胶的密度,因此相同厚度的钢板比相同厚度的橡胶有更好的抗射流侵彻能力。

对比图 5、图 6 可以看出,随着侵彻角度的增加,射流穿过靶板后损失的能量均随侵彻角度的增加而增加,不同角度下射流侵彻两种不同靶板后损失的能量 ΔE 如图 7 所示。5 种不同角度下射流侵彻填充橡胶夹层靶板多损失的能量 ξ 为

$$\xi_\theta = \frac{\Delta E_1 - \Delta E_2}{\Delta E_2} \tag{2}$$

式中:ξ_θ 为入射角度为 θ 时,射流侵彻填充橡胶的靶板比不填充橡胶的靶板多损失的能量百分比;ΔE_1 为射流侵彻具有填充橡胶的靶板时损失的能量;ΔE_2 为射流侵彻无橡胶填充的靶板时损失的能量。计算结果如表 3 所示。

表 3　射流侵彻填充橡胶的靶板比不填充橡胶的靶板多损失的能量

Table 3　The consumed jet energy of composite armor filled with rubber more than the composite armor without fillings

θ/(°)	ξ/(%)	θ/(°)	ξ/(%)	θ/(°)	ξ/(%)
0	35.7	45	18.4	68	6.7
30	19.9	60	28.1		

可以看出,填充橡胶后射流的能量损失有显著的提高,表明增加橡胶填充可以提高靶板的抗射流侵彻性能。由于在不同入射角度下,天然橡胶对射流的干扰速度区间和干扰长度有所不同,因此导致消耗的能量出现表 3 所示的变化趋势。

3.2 填充橡胶的夹层靶板各部分吸能特性分析

射流侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板时，根据靶板的组成及靶板的空间位置分析，射流依次穿过背板、橡胶、夹芯板、(橡胶、夹芯板)、面板，各个部分在射流侵彻过程中均消耗射流的能量，使射流能量降低。不同入射角度下射流侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板时各个部分吸收的能量如图 8 所示。

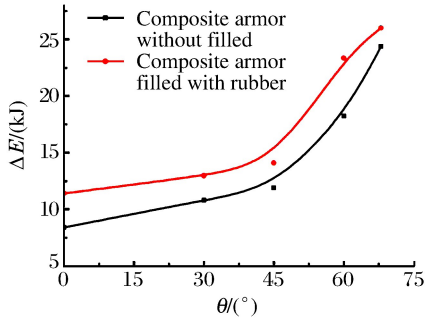

图 7 不同角度下射流侵彻两种不同靶板后损失的能量曲线

Fig. 7 Energy loss curve of the jet penetrating the two different composite armors with different angles

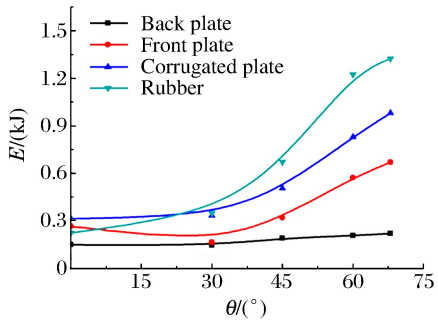

图 8 不同入射角度下射流侵彻填充橡胶靶板时各个部分吸收的能量曲线

Fig. 8 Energy absorbed curve of the jet penetrating the composite armor filled with rubber with different angles

从图 8 可以看出，随着射流入射角度的增大，夹芯板和橡胶填充层吸收的能量在整个靶板吸收的能量中所占的比重呈增大的趋势。当入射角度为 0°～30°时，夹芯板吸收的能量较橡胶多，当入射角度为 30°～68°时，橡胶吸收的能量超过夹芯板，入射角度为 60°和 68°时，射流穿过多层夹芯板和橡胶，夹层结构对射流能量进行多次吸收，使得射流能量大大下降。大入射角度条件下，靶板各部分吸收的能量由高到低依次为橡胶填充层、夹芯层、面板、背板。

3.3 射流侵彻靶板后剩余侵彻能力分析

靶板的抗射流侵彻能力也可以根据射流对后效靶的侵彻情况进行描述，射流穿过靶板后继续侵彻后效靶，形成的孔径和侵彻深度可以简介表征靶板的抗射流侵彻能力。

图 9 为不同角度入射时的剩余穿深曲线。射流侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板后侵彻后效靶的剩余穿深如图 10 所示。从图 10 可以看出，随着射流入射角度的增加，射流在后效靶上的开坑越来越大，侵彻深度越来越小。射流侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板和无橡胶填充的靶板后的剩余穿深如图 9 所示。

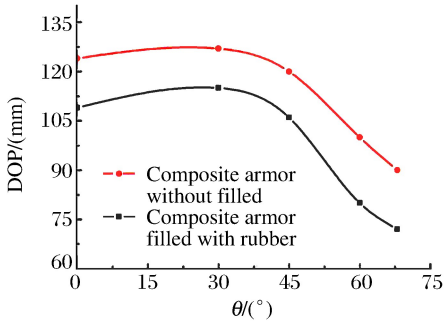

图 9 不同角度入射时的剩余穿深曲线

Fig. 9 DOP curve of different angles

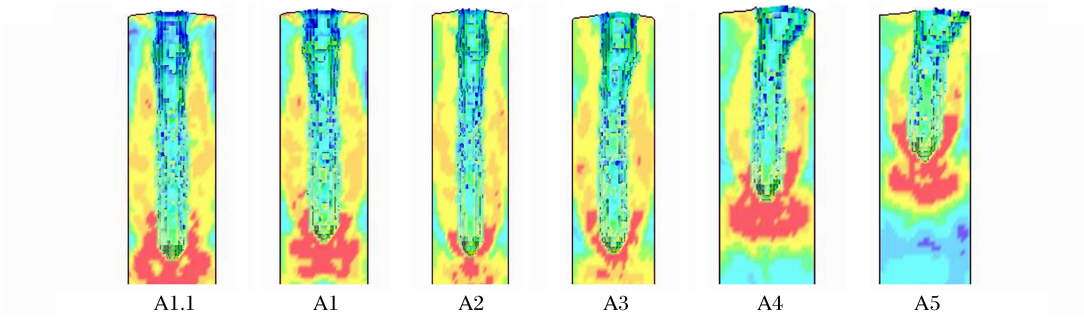

图 10 剩余穿深

Fig. 10 DOP of the simulation

从图 9 可以看出:

(1) 射流侵彻靶板后的剩余穿深随着入射角度的增大均表现为相同的趋势。当入射角度从 0°增加到 30°时,剩余穿深略微增大,主要是因为 0°入射时,射流穿过的钢板厚度较 30°入射时穿过的钢板厚度略大;对于填充橡胶的 45°折状夹层靶板而言,虽然射流 30°入射时穿过的钢板厚度较 0°时穿过的钢板厚度小,但是 30°入射时射流穿过的橡胶厚度大于 0°入射时的情况,由 2.2 节分析可知,射流 0°～30°入射时夹芯板相比橡胶而言,在射流侵彻过程中吸收的能量更大,因此,射流 30°入射两种靶板时剩余穿深均有所增加;当入射角度从 30°增加到 68°时,剩余穿深随着入射角度的增大表现为下降的趋势。

(2) 当入射角度较小时,射流均穿过单层夹芯板和单层橡胶,射流剩余侵深的减小是因为靶板的倾角效应;当射流入射角度增大到 60°、68°时,射流穿过多层夹芯板和多层橡胶,在倾角效应和靶板结构的共同作用下,使剩余穿深大大减小,68°时剩余穿深最小。结果表明,填充橡胶的 45°折状夹层靶板对大倾角入射的射流有更好的干扰性能。

为了验证仿真结论的正确性和可靠性,进行了实验研究。实验布置和后效靶开坑情况如图 11 所示。背板上放置高度为 80 mm 的炸高筒,用以定位基准弹,后效靶上表面距炸高筒上表面的距离为 330 mm。

图 11　实验布置与结果

Fig. 11　Test layout diagram and the results

对基准弹侵彻炸高为 330 mm 的后效靶板进行了 3 次实验,测得剩余穿深分别为 160、162、165 mm,取 3 次实验的平均值得实验所用基准弹在炸高为 330 mm 时的穿深为 162 mm,仿真所得穿深为 170 mm,误差为 4.9%,表明仿真采用的射流参数是可信的。

针对射流以 60°倾角侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板进行了实验研究,实验所采用的靶板参数与仿真模型中的参数一致。实验测得射流的剩余穿深为 80 mm,仿真所得剩余穿深为 87 mm,误差为 8.7%,表明仿真结论可信。从后效靶表面的开坑情况可以看出,射流到达后效靶后有明显的散射现象。

3.4　质量防护系数

由上述分析可知,射流穿过靶板后的剩余穿深是倾角效应和靶板结构共同作用的结果。由于靶板与射流的作用情况不同,剩余穿深不能直接作为评定异型夹层结构复合靶板防护能力的标准,引入质量防护系数 E_m 来表征异型结构靶板的整体抗侵彻能力[8]。质量防护系数 E_m 的计算公式如下

$$E_m=\frac{\rho_{st}h_0}{\rho_{p1}\delta_{p1}/\cos\theta+\rho_{p2}\delta_{p2}/\cos\theta+\rho_{st}h_{res}+\rho_{t1}\delta_{t1}/\cos\theta+\rho_{t2}\delta_{t2}/\cos\theta} \tag{3}$$

式中:ρ_{st} 为钢的密度;ρ_{p1} 为异型靶夹芯钢板密度;δ_{p1} 为夹芯钢板的等效厚度;ρ_{p2} 为橡胶密度;δ_{p2} 为橡胶填充层的等效厚度;ρ_{t1}、ρ_{t2} 分别为背板和面板的密度;δ_{t1}、δ_{t2} 分别为背板和面板的厚度;h_0 为∅56 mm 标准聚能装药基准穿深,仿真得出 $h_0=170$ mm;h_{res} 为射流侵彻复合靶板后的剩余穿深。

填充橡胶的 45°折状夹层靶板和无橡胶填充的 45°折状夹层靶板的质量防护系数 E_m 如图 12 所示,分析可得:

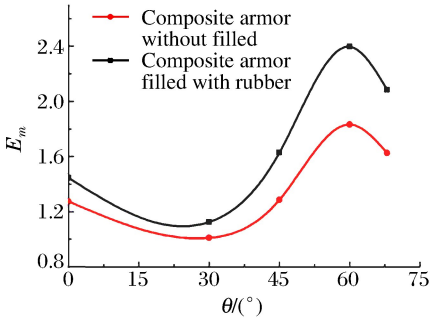

图 12　两种不同靶板的质量防护系数

Fig. 12　Quality protection factor of the two different composite armors

(1) 两种不同靶板的质量防护系数均在射流入射角度为 30°时最小,随着入射角度的增大,质量防护系数表现为上升的趋势,在入射角度为 60°时,达

到最大值，表明此时靶板的整体性能最优。

(2) 填充橡胶的 45°折状夹层靶板的质量防护系数较相同入射角度下无橡胶填充的 45°折状夹层靶板的质量防护系数均高，表明填充橡胶的 45°折状夹层靶板抗射流侵彻性能较优，填充橡胶对靶板的抗射流侵彻性能是有利的。

A1、A1.1、A1.2 三种情况对应的质量防护系数分别为 1.45、1.40、1.35，可以看出，A1 情况下的质量防护系数较大，表明射流 0°入射穿过双层橡胶比穿过单层橡胶的抗射流侵彻性能较优；A3、A3.1 情况对应的质量防护系数分别为 1.39、1.63，即射流 45°入射穿过夹芯板时的靶板性能优于射流穿过橡胶、夹芯板、橡胶的情况。与 3.1 节中射流在对应情况下的能量损失相符。

4 结 论

综合比较射流在不同角度下侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板和无橡胶填充的 45°折状夹层靶板后射流损失的能量、剩余穿深及质量防护系数，可以看出，具有 45°折状夹层结构的靶板有很好的抗射流侵彻性能，在射流以 60°入射时性能最优。增加橡胶填充可以提高靶板的防护性能，表明异型夹层结构复合靶板可以作为轻型装甲防护聚能装药的一个有效手段。

通过分析射流侵彻填充橡胶的 45°折状夹层靶板时不同组成部分的吸能特性，表明射流入射角度小于 30°时，橡胶填充层较夹芯板吸收的能量少，入射角度大于 30°时，靶板各部分吸能由高到低依次为橡胶填充层、夹芯板、面板、背板。

References:

[1] Zhang G P, Dai G C. Honeycomb sandwich panels of composites and their application [J]. Fiber Composites, 2000, 17(2): 25-27. (in Chinese)
张广平，戴干策. 复合材料蜂窝夹芯板及其应用 [J]. 纤维复合材料，2000，17(2)：25-27.

[2] Radford D D, Deshpande V S, Fleck N A. The use of metal foam projectiles to simulate shock loading on a structure [J]. Int J Impact Eng, 2005, 31(9): 1152-1171.

[3] Mcshane G J, Radford D D, Deshpande V S, et al. The response of clamped sandwish plates with lattice cores subjected to shock loading [J]. Eur J Mech A/Solids, 2006, 25: 215-229.

[4] Zhao G P, Lu T J. Dynamic response of cellular metallic sandwich plates under impact loading [J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2008, 40(2): 194-206. (in Chinese)
赵桂平，卢天健. 多孔金属夹层板在冲击载荷作用下的动态响应 [J]. 力学学报，2008，40(2)：194-206.

[5] Tian P P, Zhao G P, Lu T J. Numerical analysis for dynamic response of sandwich plates with lattice and filling under impact loading [J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2009, 26(4): 788-792. (in Chinese)
田培培，赵桂平，卢天健. 具有填充材料的金属格栅夹层板在高速冲击下动态响应的数值分析 [J]. 应用力学学报，2009，26(4)：788-792.

[6] Zu X D, Huang Z X, Gu X H. Simulation analysis on poly-rubber resisted jet penetrating [J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(1): 56-59. (in Chinese)
祖旭东，黄正祥，顾晓辉. 聚乙烯橡胶抗射流侵彻数值仿真研究 [J]. 系统仿真学报，2010，22(1)：56-59.

[7] Dorfmann A, Ogden R W. A pseudo-elastic model for loading, partial unloading and reloading of particle-reforced rubber [J]. Int J Solids Struct, 2003, 40(11): 2699-2714.

[8] Helte A, Lidén E. The role of Kelvin-helmholtz instabilities on shaped charge jet interaction with reactive armours plates [C]//25th International Symposium on Ballistics. Beijing, 2010: 1547-1553.

Study on the Effects of Composite Armor with Corrugated Sandwich against the Shaped Charge Jet Penetration

ZHANG Zhong-Wen, HUANG Zheng-Xiang,
ZU Xu-Dong, JIA Xin

(*Minister Key Laboratory of ZNDY, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing* 210094, *China*)

Abstract: The anti-penetration property of the corrugated sandwich composite armor with the corrugation angle of 45° in different penetration angles was studied. The performance of the armors filled with rubber and without rubber was studied, based on the energy loss, DOP and quality protection factor considerations. The energy absorption characteristics of the armor filled with rubber was analyzed. The reliability of the simulation results was validated by ∅56 mm stander shaped charge penetrating the steel at 0° dip angle and the composite armor at 60° dip angle. The results showed that the protection capability of the corrugated sandwich composite armor with corrugation angle of 45° was effective. It's beneficial to fill the corrugation gaps with rubber. This kind of composite armor has excellent protection capability and can be used as a new kind of light armor.

Key words: impact mechanics; corrugated sandwich; jet; anti-penetration property; quality protection factor

《高压物理学报》征稿简则

《高压物理学报》是我国高压物理领域唯一的专业性学术刊物,在国内外公开发行。力求及时报道高压物理学科基础理论和应用研究方面具有创新性、高水平、有重要意义的研究成果,读者对象为国内外科技工作者。征稿内容为动态及静态高压技术,人工合成新材料,高温高压下材料的力学、光、电、磁等特性以及物质微观结构的研究,动态及静态高压研究中的测试技术,高温高压下的相变,高温高压物态方程等。《高压物理学报》接受中、英文稿件。

(1) 来稿应具有科学性、先进性和实用性,论点明确、论据可靠、数据准确、逻辑严谨、文字简练、图表清晰。每篇论文的篇幅应在 6 000～8 000 字以内,请使用中华人民共和国法定计量单位。论文格式请参考近期出版的《高压物理学报》,请登录《高压物理学报》网站 www.gywlxb.cn 进行投稿。

(2) 所投稿件不得涉及国家及本单位机密,投稿时请附本单位保密审查意见,由审查者签名并加盖公章。

(3) 文章标题字数应在 20 字以内。文中图、表应有自明性,所有图题、图注、表题、表注均为中、英文对照,图、表中的文字一律用英文。

(4) 第一作者应确保全体作者同意文章署名,请提供第一作者、通讯作者简介(姓名、出生年、性别、职称、学位、研究方向等),以及所有联系方式(通信地址、邮政编码、电话号码、传真、电子邮箱等),以备联系。请注明论文(工作)的资助项目(资助项目名称和批准号),简要介绍工作背景和论文意义。

(5) 来稿应保证文章版权的独立性,严禁抄袭,文责自负,请勿一稿多投。

重点注意事项

(1) **中英文摘要**　摘要用第三人称书写,语言要简练,应有具体内容。要求:拥有与论文同等量的主要信息,重点包括 4 个要素:即研究目的、方法、结果和结论。以提供论文梗概为目的,不得评论、解释论文内容。中文摘要应在 200～400 个字之间,英文摘要不少于 120 个实词。为便于 Ei Compendex 以及国外其它数据库收录,英文摘要中尽量避免特殊字符(各种数学符号、上下脚标及希腊字母)及由特殊字符组成的数学表达式;第一句不要与英文题名重复;尽量用短句子并避免句形单调;用过去时态叙述主要工作,用现在时态叙述结论,尽量用主动语态代替被动语态。

(2) **参考文献**　参考文献应是公开出版物。请充分著录参考文献,引用条数不宜太少,并尽量引用近期国内外文献,采用"顺序编码制"著录。中文参考文献必须附英译文,著录项目应齐全。

(3) **版权与稿酬**　《高压物理学报》已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据——数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中文科技期刊数据库、中国期刊网、台湾中文电子期刊服务——思博网(CEPS)等,并被 Ei Compendex 光盘收录。凡经本刊录用的稿件,其著作权(包括光盘版和网络版出版权)便自动转让给《高压物理学报》编辑部,编辑部不再另行通知。来稿一经发表,即付稿酬(包括光盘版和网络版稿酬)。

《高压物理学报》一贯秉承服务科学、服务读者、服务作者的办刊理念,慎重对待每一篇来稿,尊重作者劳动。优秀稿件享有快速发表通道,重大创新性成果可在 3 个月内刊出。

通信地址:四川绵阳 919 信箱 110 分箱《高压物理学报》编辑部,邮政编码:621900
网　　站:www.gywlxb.cn　　电子邮件:gaoya@caep.cn
电　　话:(0816)2490042　　传　　真:(0816)2485139

《高压物理学报》编辑部