

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2026.03.023

削弱槽对爆炸分离碳纤维编织复合板的影响研究

左家豪¹, 王 猛¹, 张亚豪¹, 杜 帅¹, 宣海军², 何泽侃²

(1. 安徽理工大学 化工与爆破学院, 淮南 232001; 2. 浙江大学 高速旋转机械实验室, 杭州 310027)

摘 要: 为提高碳纤维编织复合材料在爆炸分离中的能量利用率并降低冲击危害, 提出一种在复材平板双侧对称位置预制矩形削弱槽并结合切割索进行爆炸分离的新型分离方法。通过数值模拟与实验验证相结合的研究方法, 使用 Autodyn 仿真软件探究在爆炸过程中不同方案射流状态、复合材料速度以及能量变化趋势。将仿真结果与实验结果相比较, 研究了矩形削弱槽与基于线性射流成长特性改进的复合削弱槽结构对爆炸分离复材平板效果的影响。结果表明: 新型爆炸分离方法可有效分离复合材料并避免复合材料在冲击过程中大面积分层问题。复合削弱槽结构能够为射流提供充分的成长空间, 使射流速度与侵彻深度大幅增加, 有效减小断裂部件对邻近部件的冲击作用。

关键词: 爆炸分离; 线性射流; 削弱槽结构; 碳纤维编织复合材料

中图分类号: TQ506.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2026)03-0233-09

Influence of Weakening Grooves on Explosive Separation of Carbon Fiber Woven Composite Plates

ZUO Jia-hao¹, WANG Meng¹, ZHANG Ya-hao¹, DU Shuai¹, XUAN Hai-jun², HE Ze-kan²

(1. School of Chemical and Blasting Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. High-speed Rotating Machinery Laboratory, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: To improve energy utilization efficiency and reduce shock hazards in explosive separation processes for carbon fiber woven composites, this study introduces an innovative separation method that uses symmetrical rectangular weakening grooves prefabricated on both sides of the composite panels, combined with linear shaped-charge cutting techniques. Through integrated numerical simulation and experimental validation, this research utilizes Autodyn simulation software to investigate jet formation states, composite material velocities, and energy variation trends across different explosive separation configurations. Comparative analysis of simulation outputs and experimental measurements elucidates how rectangular weakening grooves and composite groove structures, optimized based on linear jet development characteristics, influence the explosive separation performance of composite material plates. Results demonstrate that the proposed explosive separation method can effectively separate composite materials while preventing extensive delamination during the impact process. The composite groove configuration optimizes jet expansion space, markedly enhancing jet velocity and penetration capacity while minimizing fragment impact on adjacent com-

收稿日期 (Date of reception): 2025-10-29

网络首发日期 (Published online): 2025-12-25

作者简介: 左家豪 (2000-), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要从事爆破理论与技术研究, (E-mail) 2499858374@qq.com。

通信作者: 王 猛 (1974-), 男, 安徽淮南人, 博士、教授, 主要从事爆炸力学、计算力学研究, (E-mail) bacchus19@163.com。

About the author: ZUO Jia-hao (2000-), male, Hefei city, Anhui province, master degree candidate, mainly engaged in the blasting theory and technology research, (E-mail) 2499858374@qq.com.

Corresponding author: WANG Meng (1974-), male, Huainan city, Anhui province, Ph. D, professor, mainly engaged in the explosion mechanics, computational mechanics research, (E-mail) bacchus19@163.com.

ponents.

Key words: explosive separation; linear jet; weakened groove structure; carbon fiber woven composite

相比于金属材料,碳纤维复合材料凭借其优异的比强度、比模量以及轻量化优势,是未来航空航天、汽车与军事武器制造材料的主要发展方向^[1-4]。金属材料通常是各项同性材料,力学行为可预测性强,目前国内在爆炸分离金属材料方面的研究已经较为成熟^[5-10]。而碳纤维复合材料作为一种各向异性材料,研究难度较大,爆炸分离的应用与研究机制尚不完善。

何志杰系统研究了多种火工品方式爆炸分离碳纤维复合材料的过程与区别^[11],最终认为射流的侵入具有方向性,且对复材平板的作用力较为集中,是航空发动机机匣包容性实验的首选。切割索作为一种线性爆炸分离部件常用的火工品,具有能量作用集中、体积小、重量轻的优点,是进行爆炸分离材料的合适选择。先明春等使用 Autodyn 模拟软件与实验结合研究了切割索爆炸分离舱体时边界条件与削弱槽宽度对于分离结果的影响^[12],研究表明强固定边界条件对于射流侵入性能影响较小,削弱槽越宽越有利于材料分离。马治国通过在碳纤维复合材料层合板正面贴置切割索、背面开挖矩形槽的方式成功分离复材平板^[13],并通过 LS-DYNA 仿真软件对层合板受聚能切割索爆炸冲击分层规律进行研究。工程中常用削弱槽结构分为矩形、三角形^[14]、U 形,削弱槽设计必须要便于加工并且保证被分离部件的强度裕度。综合来看,矩形削弱槽加工难度低,底部平面便于固定切割索位置,相对于三角形开槽可以有效减弱应力集中效应。

研究提出了一种在碳纤维编织复合材料平板沿分离线两侧对称位置预制矩形削弱槽并使用切割索进行爆炸分离的新方法。根据线性射流侵入性能特点改变矩形削弱槽结构,优化射流切割能力。通过数值模拟与实验相结合的研究方法研究优化前后切割索对碳纤维复合材料的侵入过程以及分离效果影响,为爆炸分离碳纤维编织复合材料提供新的方法以及重要的理论支持。

1 削弱槽结构设计

对线性射流发展过程的研究表明,当聚能穴到侵入目标表面距离不足,射流在未完全形成时就与侵入目标接触,导致射流侵入能力降低。相反,如果超过最佳距离,射流就会过度拉长并开始分解,同样会使射流侵入能力降低^[15,16]。实验根据分离材料

连接厚度的削弱需求以及射流成长特点设计了矩形削弱槽以及改进的复合削弱槽两种结构,并探究这两种结构对爆炸分离复材平板的影响。实验所用材料为碳纤维编织增强复合材料,复材平板尺寸为 $100 \times 100 \times 20$ mm。削弱槽结构如图 1 所示,两侧削弱槽位置和深度保持一致。为方便区分将其分类为 #1、#2 两种结构类型。已知实验所用切割索最佳炸高为 0.5 mm,根据射流成长特性,#2 型结构在削弱槽中心增加 1 mm 宽、0.5 mm 深度矩形凹槽给予射流充分成长空间。削弱后复材平板的剩余厚度统一为 16 mm 以避免削弱后复材平板分离方向的强度差异对实验结果产生影响。

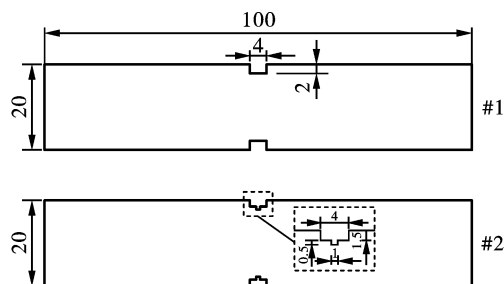


图 1 实验复材平板结构示意图(单位:mm)

Fig. 1 Schematic diagram of test plate structure(unit:mm)

2 计算模型及材料参数

使用仿真软件 Autodyn 中的 SPH 方法进行计算研究。计算中将复材平板均质化,从宏观角度对其进行研究。根据对称性建立 1/4 计算模型并通过镜像展示效果如图 2 所示,图中 X 方向为经向, Y 为纬向。通过设置监测点的方式监测射流头部速度变化情况以及射流侵入过程中复材平板的状态变化过程。其中监测点 7 处于平板质心位置。

切割索的金属外壳材料为铅锡合金,材料模型使用 Shock 状态方程与 Steinberg Guinan 强度模型来描述其在爆炸条件下的响应行为,其密度为 $11.34 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,剩余材料参数如表 1 所示。

切割索药芯为六硝基芪(HNS),使用 JWL 状态方程来描述,其密度为 $1.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 剩余材料参数如表 2 所示。

碳纤维编织复合材料通过 Orthotropic Elasticity 材料模型来描述其弹性阶段、Orthotropic Yield 与 Orthotropic Softening 模型分别描述其强度和破坏阶段,其密度为 $1.56 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,其余弹性参数如表 3 所示。

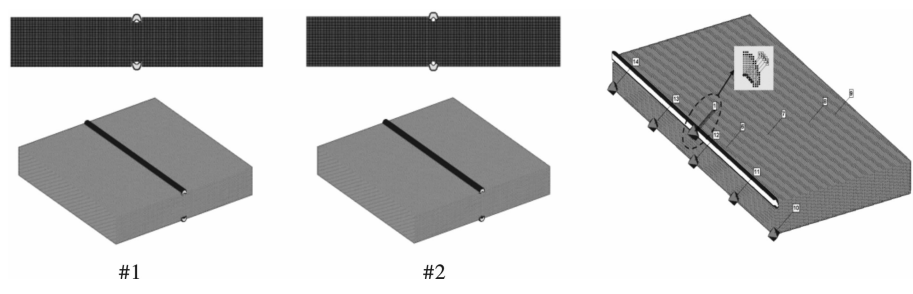


图 2 数值计算模型

Fig. 2 Numerical calculation model

表 1 铅锡合金材料参数

Table 1 The material model parameters of the copper

剪切模量 Shear modulus G/GPa	失效强度 Failure strength σ_b/MPa	拉伸强度 Tensile strength σ_s/MPa	材料常数 Material constant H_C	材料常数 Material constant H_E	材料常数 Material constant G_c	材料常数 Material constant $C_1/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	材料常数 Material constant S_1
8.60	12	24	110	0.52	2.74	2006	1.43

表 2 炸药材料参数

Table 2 Explosive material parameters

压力系数 Pressure coefficient A/GPa	压力系数 Pressure coefficient B/GPa	衰减系数 Attenuation coefficient R_1	衰减系数 Attenuation coefficient R_2	耦合系数 Coupling coefficient ω	爆速 Detonation velocity $D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	比内能 Initial internal energy $E/(\text{J} \cdot \text{m}^{-3})$	爆压 Detonation pressure P_{CJ}/GPa
538	10.70	4.50	1.40	0.35	7010	6.6e^9	27

表 3 碳纤维编织复合材料平板力学参数

Table 3 Mechanical parameters of carbon fiber woven composite plates

弹性模量 ₁ Elasticity modulus ₁ E_1/GPa	弹性模量 ₂ Elasticity modulus ₂ E_2/GPa	弹性模量 ₃ Elasticity modulus ₃ E_3/GPa	剪切模量 ₁₂ Shear modulus ₁₂ G_{12}/GPa	剪切模量 ₂₃ Shear modulus ₂₃ G_{23}/GPa	剪切模量 ₃₁ Shear modulus ₃₁ G_{31}/GPa	泊松比 ₁₂ Poisson ratio ₁₂ μ_{12}	泊松比 ₂₃ Poisson ratio ₂₃ μ_{23}
9.98	54.20	65.5	3.25	4.22	3.65	0.30	0.03
泊松比 ₃₁ Poisson ratio ₃₁ μ_{31}	应力 ₁₁ Stress ₁₁ σ_{11}/MPa	应力 ₂₂ Stress ₂₂ σ_{22}/MPa	应力 ₃₃ Stress ₃₃ σ_{33}/MPa	应力 ₁₂ Stress ₁₂ σ_{12}/MPa	应力 ₂₃ Stress ₂₃ σ_{23}/MPa	应力 ₃₁ Stress ₃₁ σ_{31}/MPa	
0.35	92	528	658	39.60	42.60	41.20	

2.1 数值模拟结果及平板飞脱速度分析

复材平板爆炸分离数值模拟结果如图 3 所示,宏观结果显示,两种方案复材平板在爆炸过程中皆成功分离。复材平板沿分离方向质心速度变化曲线如图 4 所示,复材平板^{#1}质心峰值速度能够达到 29.44 m/s,复材平板^{#2}质心峰值速度为 20 m/s。根据计算结果,250~300 μs 后质心速度趋于稳定,取该范围内最大和最小速度的中间值作为最终分离速度分别得到分离速度为 21.42 m/s 和 14.81 m/s。飞散速度结果表明,复合削弱槽结构可以显著降低复材平板的附加速度。

2.2 不同削弱槽结构对切割索侵彻复材平板的影响分析

两种结构射流侵彻过程如图 5 所示,可以观察到 2 μs 时,#1 实验组中射流成形前已对目标介质产生破坏作用,随后在两侧爆轰波的挤压作用下逐渐形成射流切刀。金属射流提前接触目标阻碍了射流切刀成型进程,增加了射流初期开孔所消耗的能量,导致后续侵彻能力下降。而#2 实验组由于复合削弱槽的存在,药形罩在压垮到第一层削弱槽平面时,射流头部仍旧保持无障碍生长状态。在侵彻目标之前,射流切刀已经具备雏形,使其能够达到最佳切割状态,从而增加侵彻深度,提高厚度方向爆炸能量的利用效率。

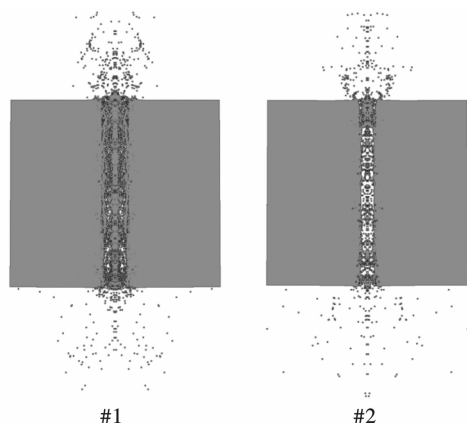


图 3 #1、#2 复材平板数值模拟结果

Fig. 3 #1 and #2 Numerical simulation results of composite plate

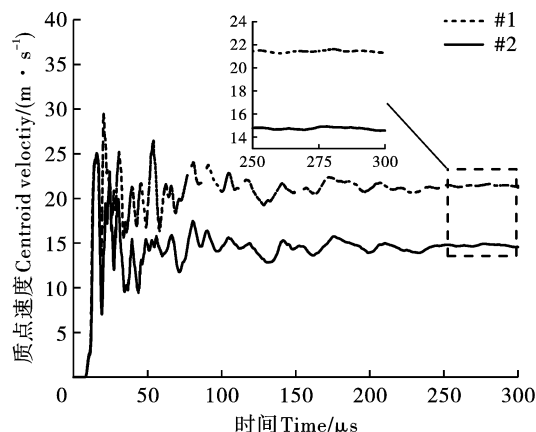


图 4 复材平板质心速度变化

Fig. 4 Centroid velocity variation of composite plate

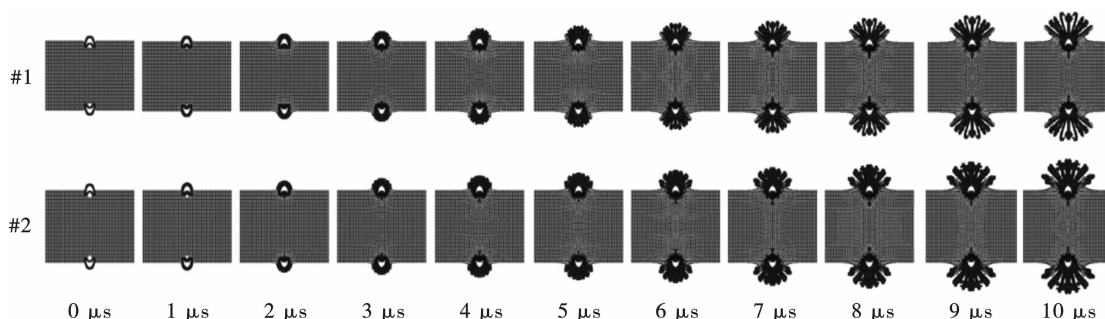


图 5 射流侵彻过程

Fig. 5 Jet penetration process

射流头部速度变化如图 6 所示,结构^{#1}中射流头部速度最高达到 1442 m/s,结构^{#2}中射流头部速度最高达到 1773 m/s,射流速度相比结构^{#1}提升约 23%,侵彻深度进一步提升。对射流成长过程来说,结构^{#2}给予了射流更大的发展空间,虽然这也导致了射流速度成长时间落后于结构^{#1},但两者速度达到极值所需要的时间仅相差 0.15 μs,射流侵彻作用时间约为 10 μs,这对爆炸分离复材平板的过程以及时间影响可以忽略。

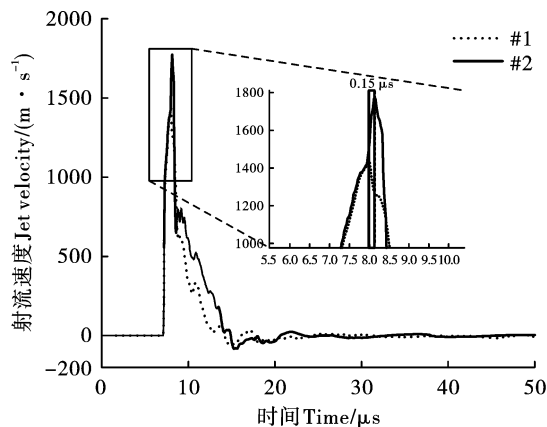


图 6 射流头部速度变化情况

Fig. 6 Jet velocity comparison

2.3 复材平板应力传播及分离过程分析

由于两种实验方案所产生的应力波传递过程并无明显差异,以复材平板^{#2}为例进行应力波传播过程分析。分离过程中与线性切割方向垂直的平面应力波传播过程如图 7 所示。爆炸开始后,双侧铅锡合金外壳在爆炸压缩作用下冲击复材平板并形成射流切割对应位置。初始阶段产生的应力波呈扇形并随时间不断向对向传播,最终两股应力波在对称面相交重叠形成沙漏波形继续向两侧传播。

监测点提取的 X 方向粒子加速度变化及应力变化如图 8、图 9 所示。通过观察粒子加速度首个波峰的变化趋势,当应力波传播到自由边界位置由于反射波拉伸效应,粒子加速度峰值突增,而后续加速度产生的高频振荡为多个应力波叠加传播的结果。从图中观察到,各个监测点的加速度波形首个波峰峰值明显低于后续波峰的峰值, X 方向应力也出现二次增长特征,这是线性射流不断侵彻复材平板为应力波提供持续能量输入造成的。结果表明爆炸过程中线性能量的有序输入对复材平板中传播的应力波强度起决定性因素。

切割方向监测点的粒子速度与应力变化情况如图 10 所示,从图中可以观察到,由于反射波拉伸作

用,两端自由面上的粒子峰值速度远大于复材平板内部的粒子速度。在切割方向上粒子速度与应力随传播距离稳定增长而非逐步衰减,这体现出线性爆

炸方向上前者与后者应力波叠加增强的特点。当应力波传递到自由面,粒子速度大幅提升,应力大幅降低,符合应力波的传播规律。

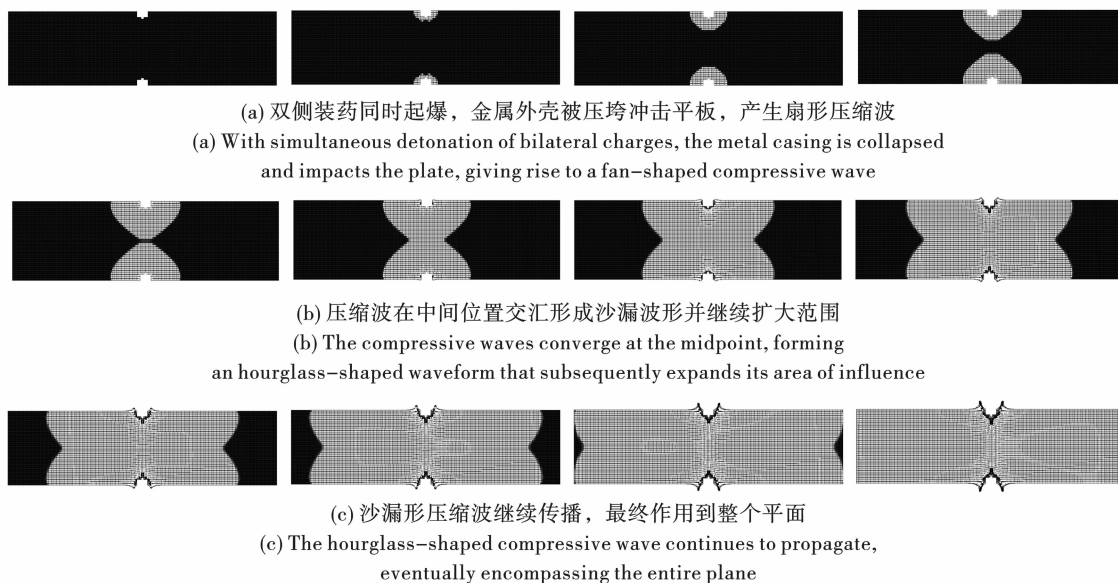


图7 分离方向平面应力波传播过程

Fig. 7 Propagation process of planar stress waves in the separation direction

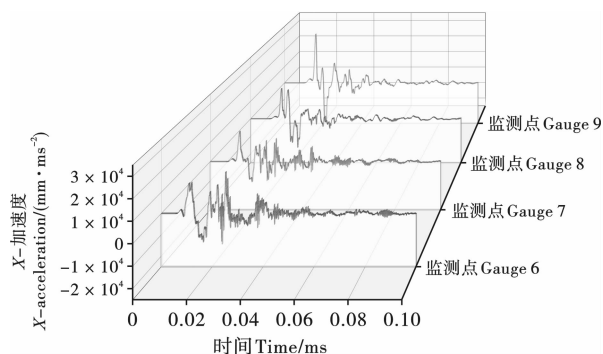


图8 复材平板分离方向加速度变化历程

Fig. 8 Acceleration variation history in the plate separation direction

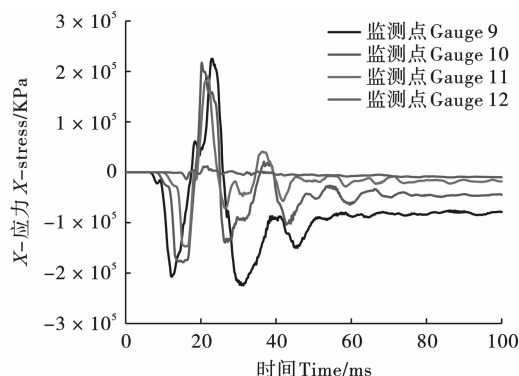


图9 复材平板分离方向应力变化过程

Fig. 9 Stress variation in the plate separation direction

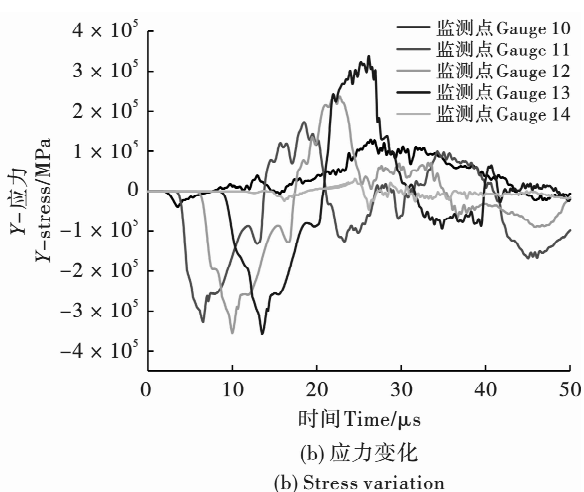
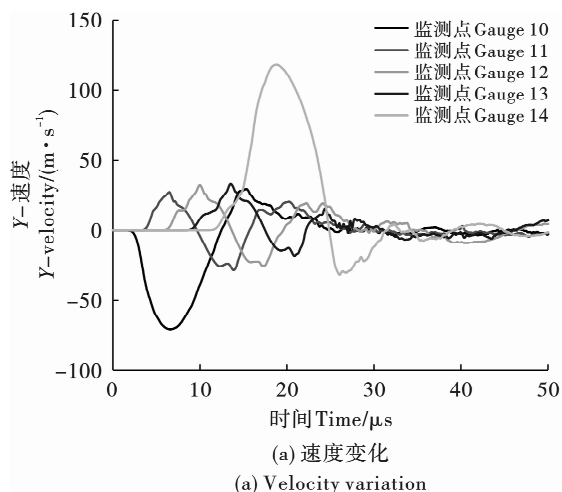


图10 线性切割方向监测点数据

Fig. 10 Monitoring point data in the linear cutting direction

根据应力波传播理论对复材平板分离过程进行分析。当压缩应力波传递到复材平板边界时会在边界处反射产生拉伸应力波继续向反方向传播。在应力波传播过程,复材平板厚度方向上承受了巨大的压缩与拉伸应力,当材料基体被压缩破坏或脱粘而失效,此时碳纤维复合材料在拉伸应力的作用下发生层间分层。在双侧射流切割作用下,侵彻区域尖端附近会出现应力集中现象。虽然切割索产生的金属射流不能完全击穿复材平板厚度,但在金属射流的压缩与剪切作用以及反射波拉伸的联合作用下,侵彻区域产生贯穿厚度的裂纹,最终导致复材平板断裂分离。

2.4 复材平板能量变化过程分析

通过分析复材平板内部的能量变化,可以了解复材平板在爆炸冲击条件下的动态响应过程。复材

平板的总能量、内能、动能变化情况如图 11 所示。二者内能与动能在第一阶段都以不同的速度线性增加。爆炸能量耗尽后,复材平板失去了外部爆炸能量的输入,能量变化进入第二阶段,内能的增加主要靠内部残余的应力波叠加传播造成材料内摩擦以及射流剩余能量提供,内能增速大幅降低。复材平板获得的动能主要作用于复材平板向两侧的分离方向,这就导致侵彻区域产生拉伸应力集中造成厚度方向断裂,而断裂过程会消耗部分动能,导致动能持续降低。第三阶段当复材平板完全分离后,应力波能量耗散完全,最终复材平板的能量进入稳定阶段不再变化。从完整的时间历程来看,从爆炸开始到复材平板断裂分离,复材平板^{#1}用时 21 μs ,复材平板^{#2}用时 26 μs ,二者分离时间的差异主要是由侵彻后剩余厚度断裂所需时间不同导致。

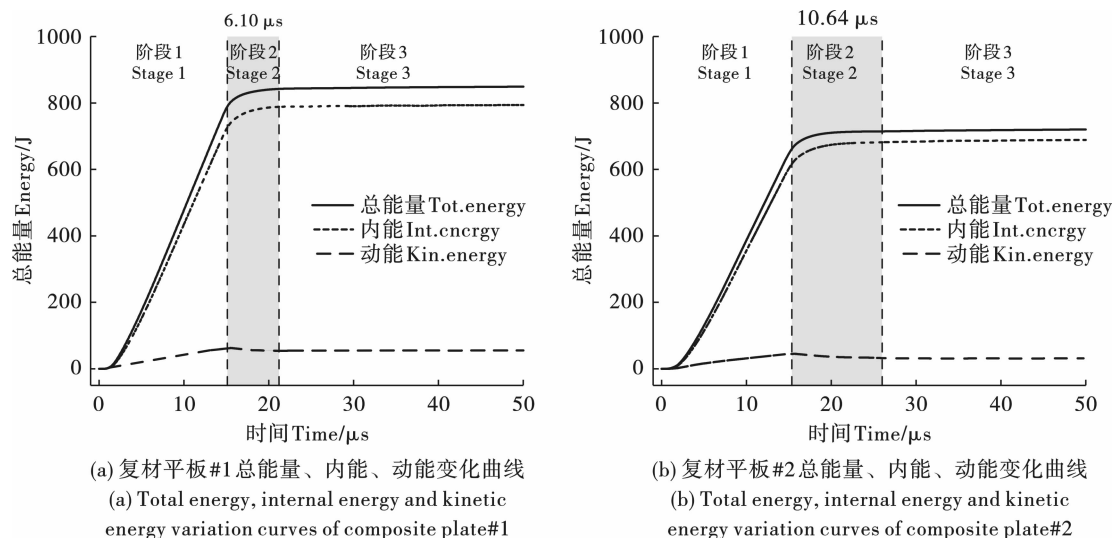


图 11 复材平板能量分配

Fig. 11 Energy distribution of the composite plate

3 实验验证

3.1 实验设计

实验使用与模拟中同尺寸的复材平板并将其置于悬空平台配合高速相机拍摄分离过程,高速相机拍摄视角垂直于爆炸分离方向,以便记录复材平板爆炸分离过程以及分离速度计算。双侧切割索通过绑定雷管起爆,实验装置及装药情况如图 12、13 所示。

3.2 实验结果及分析

#1、#2 两种结构类型复材平板爆炸分离后如图 14 所示。结果表明两种削弱槽构型复材平板均能通过双侧安装切割索方案实现分离。根据宏观特征,复材平板分离后没有发生明显分层以及解体。比较两者断口特征,发现复材平板^{#2}断裂面相对复

材平板^{#1}来说更加平整、干脆,说明结构^{#2}射流在厚度方向的侵彻能力要优于结构^{#1}。#1、#2 号复材平板在顶部或底部皆存在明显的纤维束拔出痕迹,这说明射流的侵彻深度有限并没有穿透复材平板的全部厚度,剩余的厚度部分是在拉伸应力作用下发生断裂最终分离复材平板,这与数值模拟分析得到的结果一致。

以复材平板^{#1}为例展示爆炸分离过程,分离过程如图 15 所示。雷管起爆后产生明显亮光,随后爆炸位置瞬间产生大量爆生气体与铅铋合金的混合物遮挡视野无法观察复材平板在爆炸近区的分离过程。当复材平板完全断裂分离,直到 12.8 ms 后向两侧飞出烟雾范围。依据高速摄像拍摄画面,计算得到分离后的飞散速度如图 16(a)所示。为保证结果可靠性,每个飞块出现在视场后记录相同时间间

隔内的飞散速度并依次测量五组数据对其进行均值与标准差分析,分析结果如图 16(b) 所示。



图 12 实验装置
Fig. 12 Test equipment

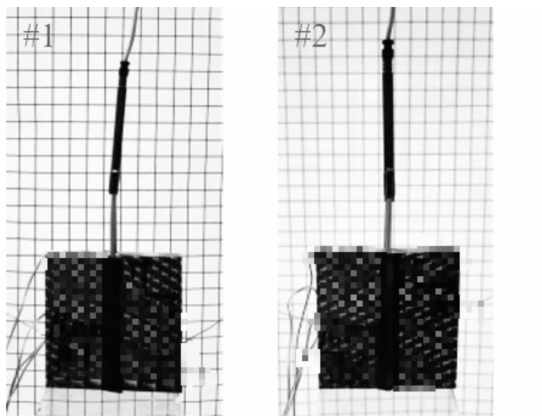
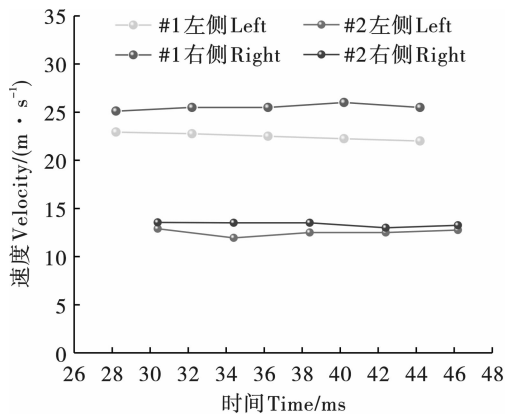


图 13 爆炸物安装
Fig. 13 Installation of explosives

结果显示,复材平板^{#1}左侧分离速度均值为



(a) 爆炸分离速度测量结果
(a) Measurement results of explosion separation velocity

22.49 m/s,右侧分离速度均值为 25.52 m/s。复材平板^{#2}左侧分离速度均值为 12.52 m/s,右侧分离速度均值为13.26 m/s。对飞块速度进行平均计算,复材平板^{#1}速度约为 24.00 m/s,复材平板^{#2}速度约为 12.89 m/s,即#2 方案复材平板爆炸分离速度比#1 方案降低了约 46%。五组数据标准差最大值 0.37 最小值为0.23,说明测量结果离散程度在合理区间内,测试结果准确。模拟结果与实际最大误差为 14.45%,符合工程误差要求。



图 14 实验结果
Fig. 14 Test result

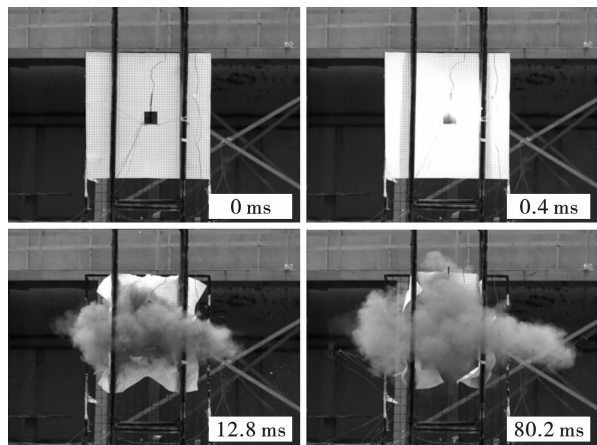
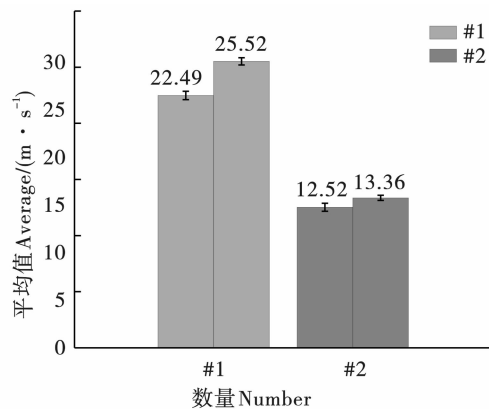


图 15 #1 复材平板爆炸分离过程
Fig. 15 #1 Composite plate explosion and separation process



(b) 测量结果误差
(b) Error in measurement results

图 16 复材平板飞散速度测量结果与误差分析

Fig. 16 Measurement results and error analysis of the flying speed of the composite plate

4 结论

通过数值模拟与实验验证相结合的方法,研究了双侧预制矩形削弱槽结构以及复合削弱槽结构对双侧线性射流爆炸分离碳纤维编织复合材料平板的影响。主要结论如下:

1)在复合材料平板分离线双侧对称预制矩形削弱槽并安装柔性切割索的爆炸分离方案,能够实现材料的有效分离,并有效抑制了分层、解体等破坏形式,保持了分离后结构的完整性。

2)根据射流成长特性改进的#2 复合型削弱槽结构可以为射流成长提供足够空间,使射流最大速度提升约 23%,有效提升侵彻深度。同时降低爆炸过程中平板内部吸收的能量,有效提高了切割索的切割能力以及降低板材飞脱后的冲击危害。

3)碳纤维编织复合材料的爆炸分离不仅仅由射流切割完成,而是线性射流局部侵彻与反射拉伸应力波共同作用的结果。射流负责在厚度方向上侵彻开坑,创造初始裂纹与损伤。随后平板内叠加反射的拉伸应力波,致使裂纹快速扩展造成复材平板厚度方向的断裂。

参考文献 (References)

- [1] JIN Zhang, GANG Lin, UDAY Vaidya, et al. Past, present and future prospective of global carbon fibre composite developments and applications [J]. *Composites Part B: Engineering*, 2023, 250: 1359-8368.
- [2] NICHOLAS Fantuzzi, ANTOINE Dib, SAJJAD Babamohammadi, et al. Mechanical analysis of a carbon fibre composite woven composite laminate for ultra-light applications in aeronautics [J]. *Composites Part C: Open Access*, 2024, 14: 2666-6820.
- [3] MICHAL Delkowski, CHRISTOPHER T G Smith, JOS V Anguita, et al. Increasing the robustness and crack resistivity of high-performance carbon fiber composites for space applications [J]. *iScience*, 2021, 24: 2589-0042.
- [4] 肖 寒, 段卓平, 李 荣, 等. 典型纤维复合材料组合靶板抗破片性能研究 [J]. *北京理工大学学报*, 2025, 45(10): 1011-1020.
- [4] XIAO Han, DUAN Zhuo-ping, LI Rong, et al. Study on fragment impact resistance of fiber-reinforced composite targets [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2025, 45(10): 1011-1020. (in Chinese)
- [5] 张 鹏, 郭敬彬. 高强度钢(921A)聚能切割数值仿真与试验研究 [J]. *舰船科学技术*, 2024, 46(3): 79-83.
- [5] ZAHNG Peng, GUO Jing-ming. Numerical simulation and experimental research of high-strength steel(921A) concentrated energy cutting [J]. *Ship Science and Technology*, 2024, 46(3): 79-83. (in Chinese)
- [6] LI Yan-hua, WANG Jing-cheng, XIONG Shi-hui, et al. Numerical study of separation characteristics of piston-type explosive bolt [J]. *Shock and Vibration*, 2019, 2019: 1070-9622.
- [7] 王 威, 赵 铮. 聚能切割分离铝平板的仿真与试验研究 [J]. *兵器装备工程学报*, 2023, 44(4): 28-32.
- [7] WANG Wei, ZHAO Zheng. Numerical simulation and experimental research of shaped energy cutting and separating aluminum plates [J]. *Journal of Ordnance Equipment Engineering*, 2023, 44(4): 28-32. (in Chinese)
- [8] 董世康, 胡芳友, 崔爱永, 等. 聚能射流侵彻飞机铝合金蒙皮的仿真与试验研究 [J]. *振动与冲击*, 2019, 38(4): 184-190.
- [8] DONG Shi-kang, HU Fang-you, CUI Ai-yong, et al. Simulation and experiments on shaped charge jets penetration into aircraft aluminum-alloy skin [J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2019, 38(4): 184-190. (in Chinese)
- [9] 陈 刚, 朱 宇, 赵盟乔, 等. 双孔装药结构爆炸分离钛合金板的研究 [J]. *工程爆破*, 2024, 30(3): 128-135.
- [9] CHEN Gang, ZHU Yu, ZHAO Meng-qiao, et al. Study on explosive separation of titanium alloy plate with double hole charge structure [J]. *Engineering Blasting*, 2024, 30(3): 128-135. (in Chinese)
- [10] 李发耀, 王 猛, 韦 众, 等. 切割索切断钛合金板附加动能研究 [J]. *爆破*, 2025, 42(3): 158-164.
- [10] LI Fa-yao, WANG Meng, WEI Zhong, et al. Study on additional kinetic energy in linear shaped charge cutting of titanium alloy plates [J]. *Blasting*, 2025, 42(3): 158-164. (in Chinese)
- [11] 何志杰. 不同装药方式下爆炸分离碳纤维增强复合材料平板研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2022.
- [11] HE Zhi-jie. Research on explosive separation of carbon fiber reinforced composite slabs under different charging methods [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2022. (in Chinese)
- [12] 先明春, 张月萍, 李柠芮, 等. 边界约束及分离面宽度对铅切割索分离性能的影响 [J]. *含能材料*, 2024, 32(1): 92-101.
- [12] XIAN Ming-chun, ZHANG Yue-ping, LI Ning-rui, et al. Effect of boundary constraints and separation surface width on separation performance of lead linear shaped charge [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*, 2024, 32(1): 92-101. (in Chinese)
- [13] 马治国. 碳纤维复合材料层合板受聚能切割索爆炸冲击破坏特性研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2016.
- [13] MA Zhi-guo. Research on impact fracture behavior of carbon fiber composite laminates under the explosion of linear shaped charge [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2016. (in Chinese)

- [14] ZHOU Ming-xue, WU Cheng, An Feng-jiang, et al. Dynamic disintegration of explosively-driven metal cylinder with internal v-grooves[J]. Materials, 2021, 14:584.
- [15] LEE Juho, HAN Jae-Hung. Separation and release devices for aeronautical and astronautical systems: a review [J]. International Journal of Aeronautical and Space Sciences. 2025, 26:131-161.
- [16] 薛升曦, 乔毅轩, 刘迎彬, 等. 结构参数对聚能切割索切割效果的影响规律探究[J]. 火工品, 2025: 1-7.
- [2025-11-30]. <https://link.cnki.net/urlid/61.1179.TJ.20250430.1422.002>.
- [16] XUE Sheng-xi, QIAO Yi-xuan, LIU Ying-bin, et al. Influence investigation of structural parameters on cutting performance of flexible linear shaped charge[J/OL]. Initiators & Pyrotechnics, 2025: 1-7. [2025-11-30]. <https://link.cnki.net/urlid/61.1179.TJ.20250430.1422.002>. (in Chinese)

《爆破》杂志征订启事

《爆破》(刊号 ISSN1001-487X, CN42-1164/TJ)创刊于1984年(季刊),大16开。《爆破》由武汉理工大学主办、中华人民共和国教育部主管,是国内外公开发行的爆破行业权威学术期刊。

办刊宗旨:聚焦爆破领域高新技术前沿动态,构筑交流学术思想、传递科技信息平台,推动中国爆破事业的蓬勃发展

主要栏目:名家论坛、理论与技术探索、矿岩爆破、拆除爆破、特种爆破、爆破器材、安全与管理

读者对象:国内外相关专业科研院所科技工作者、大中专院校师生、企业技术人员及管理人员。本刊还特别注重为青年学者、博士生、硕士生的科研提供服务。

《爆破》论文大多结合我国重大建设工程和爆破界关注的课题,理论研究和工程应用合理搭配。这些内容为各地、各系统爆破工作者提高理论水平,获取新技术构建了学习交流平台,直接服务于生产实践。读者和作者遍布全国各省市,覆盖水利、电力、冶金、煤炭、有色金属、建材、铁路、公路、建筑、地质、石油化工、军工等多个行业,杂志辐射面广、具有较高的学术水平和社会影响力。

《爆破》杂志连续五届进入“中文核心期刊要目总览”,同时还是中国科技论文统计源刊(中国科技核心期刊)、中国科学引文数据库(CSCD)源刊、中国学术期刊<光盘版>源刊、《中国期刊网》源刊、万方数据库源刊、中文科技期刊数据库源刊、《中国核心期刊(遴选)数据库》源刊。在中国知网、“万方数据-数字化期刊群”、维普、超星全文上网。杂志荣获《CJA-CD规范》执行优秀奖,连续五届获得湖北省优秀期刊奖。

2024年版中国科技期刊引证报告显示2023年《爆破》扩展影响因子2.401。

编辑部现已建成集作者投稿+编辑网络办公+专家评审+主编终审等功能的专业网站。

欢迎投稿、订阅!

杂志可在全国各地邮局订阅,国内邮发代号38-425,每册定价RMB¥20(国内),全年RMB¥80(国内)。

也可直接联系编辑部购买,每册定价(含邮费)RMB¥25(国内),全年(含邮费)RMB¥100(国内)。

编辑部联系方式和银行账户:

联系方式:

地址:武汉理工大学南湖校区《爆破》杂志编辑部

E-mail: chinablasting@ sina. com. cn

电话: (027) 87654177

Website: www. chinablasting. com

bopo. cbpt. cnki. net

开户行及账号:

户 名: 武汉理工大学

开户行: 工行洪山支行

账 号: 3202006709000475962

转账时请备注“爆破杂志订购款”及订阅的年、期、份数。