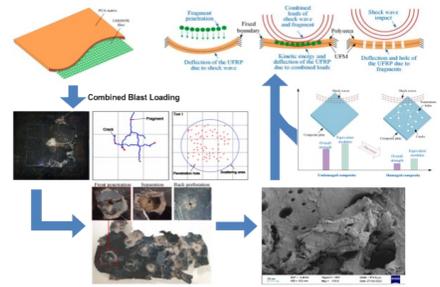


国防科技大学研究了爆炸与破片对超高分子量聚乙烯纤维聚脲复合板(UFRP)的耦合作用

聚脲和超高分子量聚乙烯纤维(UHMWPE)可以显著提高结构的抗爆和抗冲击能力,然而在实际防护中防护结构还需考虑到爆炸和破片的耦合作用。国防科技大学研究团队通过爆炸与破片耦合加载,结合理论分析,研究了UFRP在空气爆炸与破片耦合作用下的结构损伤以及抗爆性能。通过对UFRP进行试验,观察UFRP复合板的损伤累积和主要损伤模式,确定这些损伤与所施加荷载之间的关系;建立有限元模型来研究发生的现象,评估了爆炸与破片联合加载对UFRP复合板的耦合作用。结果表明,UFRP复合板在爆炸与破片的冲击下表现出优异的防护性能,通过UHMWPE增强了结构强度有效控制裂纹扩展,通过聚脲提升延展性从而减少碎片飞出。研究认为爆炸与破片的耦合作用不仅取决于荷载的到达时刻和持续时间,还取决于结构响应。

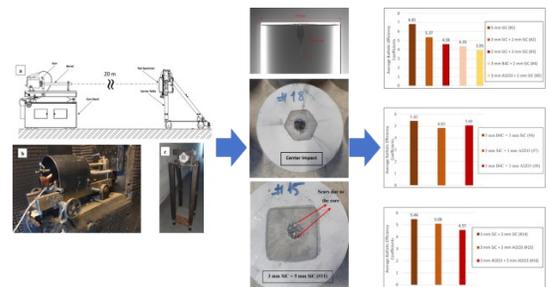
源自:LIANG M, ZHOU M, LI X, et al. Synergistic effect of combined blast loads on UHMWPE fiber mesh reinforced polyurea composites[J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2024, 183: 104804.



哈西德佩大学研究了层压陶瓷的弹道性能

陶瓷装甲被广泛应用于对抗冲击动能的威胁,为使陶瓷装甲能抵御更高级别的冲击,哈西德佩大学研究团队通过穿透深度弹道试验和数值模拟的研究方法,分析了层压陶瓷的弹道性能,并与单片陶瓷进行了比较。使用两种几何类型(六角形和正方形)和三种陶瓷材料(氧化铝、碳化硅和碳化硼)的组合生成了16种陶瓷结构。研究表明:单片陶瓷比所有层压陶瓷组合具有更高的弹道性能。在层压陶瓷中,在打击面使用较厚的陶瓷比在衬面使用更能提高弹道效率。此外,当背面陶瓷与更有效的打击面陶瓷结合时,其弹道性能优于相同的陶瓷材料的组合。

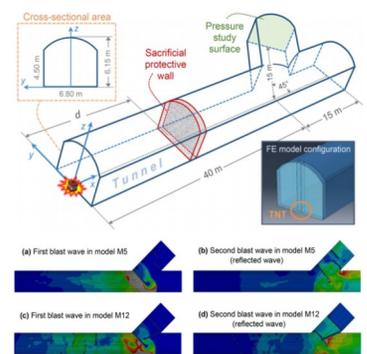
源自:METEHAN C, HAMED T, BARIS S. Experimental and numerical study on the ballistic performance of laminated ceramics[J]. *International Journal of Impact Engineering*. 2024, 193, 105032.



沙希德·贝赫什提大学研究了内部结构多层防护墙体对防空洞等庇护设施防护性能的影响规律

地下空间由于结构密闭的特性,在危机和紧急情况下经常被用作重要的避难场所。为降低潜在的爆炸荷载对避难所等民用地下空间基础设施的影响,沙希德·贝赫什提大学研究团队基于Jones-Wilkins-Lee(JWL)炸药状态方程,采用脆性开裂状态方程(EoS)对不同距离和不同排列方式的多层防护墙结构进行有限元仿真计算,研究了由相同砌块组成的多层轻质混凝土墙体的爆炸防护性能和对隧道中冲击波压力的影响。结果表明,对于无间隔多层墙体结构,增加墙体层数(厚度)对爆炸后深度在10 m和21 m的压力峰值的影响较小,增加墙体厚度对降低爆炸后压力峰值的影响较小;对于层间间隔的多层墙体结构,相较于单层墙体,压力下降值会随墙体层数增加而增加,且通过提高墙体间距可以进一步降低内部压力。

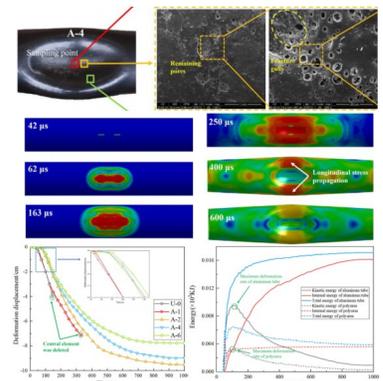
源自:KESHAVARZ M P, KHALILPOUR S H, SAREH P. Multi-layer configurations of modular protective walls for enhancing the shielding performance of blast shelters[J]. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2023: 1-14.



陆军工程大学设计制造了聚脲防护金属管道喷涂设备并研究了聚脲防护金属管的抗爆性能

金属管道是重要的工业基础设施,在工业事故中,金属管道极易受到破坏,且破坏后将导致不可预测的后果。现有加固技术多采用增加厚度或复合加固材料的方法进行加固,但受限于成本、管道自重等因素限制,现有加固效果防护性能有限。陆军工程大学研究团队基于聚脲加固成本低,且具有优异的爆炸防护性能,设计制造了一套用于金属管道的聚脲喷涂设备,通过爆炸试验和有限元模拟对聚脲防护金属管道的抗爆性能进行验证。结果表明,聚脲可以显著提高金属管道的抗爆性能。研究团队结合聚脲防护金属管道的宏观与微观损伤特征和有限元仿真,认为聚脲与金属管道之间的附着性能是结构抗爆性能的重要影响因素;根据应力波理论,揭示了金属管道表面聚脲的能量吸收机理和影响因素。

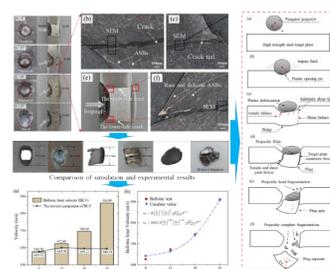
源自:ZHANG L, WANG X, JI C, et al. Effect of polyurea coating with different mechanical properties on blast resistance of aluminum alloy circular tube structures: Experiments vs numerical simulations[J]. *Thin-Walled Structures*, 2023, 183: 110361.



北京理工大学研究了22SiMn2TiB 高强钢板对钨合金球形弹丸斜向冲击的防护性能

高强钢的斜向抗弹性能一直备受关注。在局部冲突和战争中,装甲车辆是保障人员和物资安全、完成作战任务的重要装备,为适应小口径弹丸和战斗部破片毁伤能力的不断提升,装甲车辆防护技术一直是相关学者研究的重点。首先研究了22SiMn2TiB 高强钢的单轴拉伸与动态压缩性能,其表现出一定的应变速率效应和明显的温度软化效应。其次,对12 mm厚22SiMn2TiB 钢开展了 $\Phi 11$ mm钨弹在 $0^\circ\sim 45^\circ$ 倾角、 $500\sim 900\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 速度下的防弹试验。结果表明,高强钢板的弹道极限速度(BLV)随倾角的增加单调增加,基于De Marre方程标定了BLV计算模型,能够很好预测试验结果。最后采用得到的JC参数,利用LS-DYNA进行了数值模拟,结果与试验一致性良好。此外,通过对高强钢板的微观形貌分析,揭示了22SiMn2TiB 钢板在斜向防护下的防护机理,识别出高强钢板的绝热及正向剪切破坏、拉伸及拉剪混合破坏模式。

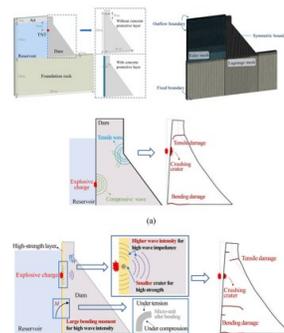
源自: CUI X, XUE H, HAN H, et al. Oblique penetration of spherical tungsten alloy projectiles on high-strength steel plates[J]. International Journal of Impact Engineering 2024; 192: 105030.



武汉大学开展了不同防护措施下混凝土重力坝承受水下接触爆炸的抗爆性能

高坝在现代战争中极易成为水下爆破和打击的首要目标,因此有必要探索保护措施以提高大坝的抗爆性能。武汉大学研究团队通过数值模拟研究了在不同保护措施下重力坝在水下接触爆炸下的抗爆效果。比较了不同强度的上游混凝土保护层对坝体的冲击波传播、损伤特性和动态响应的影响。在此基础上讨论了具有不同结构特性的混凝土保护层(如超高性能混凝土、普通高强度混凝土和沥青混凝土)对抗爆性能的影响。结果表明,混凝土保护层的波阻抗会影响坝体的抗爆性能,高强度混凝土保护层对大坝的抗爆性能影响不大,而沥青混凝土层则因其低弹性模量和强度,对提高大坝的抗爆性能有显著影响,并且对于沥青混凝土保护层,在靠近爆心的局部地方设置保护层即可获得足够的防护效果。进一步探讨了针对某些薄弱部位(如坝趾和下游边坡)的保护措施,发现使用高强度混凝土或钢筋可有效减少大坝下游边坡受损程度;在坝趾处设置关键挡墙能减小基础的裂缝长度。

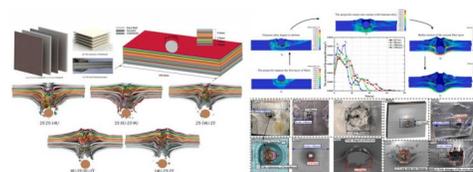
源自: LIU A, WANG G H, LU W B, et al. Blast resistance of concrete gravity dams subjected to underwater contact explosion with different protective measures[J]. Engineering Structures, 2024; 316: 118622.



南京理工大学研究了Ti/UHMWPE复合层压板在高速撞击下的能量吸收性能及结构优化设计

金属纤维层压板(FMLs)因其轻质高强的特性而广泛应用于造船、军事及航空航天等领域的结构防护。南京理工大学团队通过实验、数值模拟和理论计算,研究了钛/UHMWPE层间板在12.7 mm硬质球形弹丸撞击下的破坏模式与能量吸收特性,并提出了相应的结构优化设计方法。实验结果表明,在 $915.7\sim 1290.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的撞击速度范围内,纤维主要表现为拉伸破坏和剪切破坏,而钛合金板则出现穿孔和花瓣状撕裂;随着冲击速度增加,纤维中拉伸破坏所占比例逐渐降低,主要破坏模式转变为剪切破坏。建立了三维数值模型,通过理论分析与实验结果验证该模型具有较高可靠性,并利用此理论模型对结构的动力响应及侵入机理进行了更深入分析,从而解释各部位能量分布机制及动力响应机制。在该结构中,UHMWPE纤维吸能约45%,第一层钛合金板吸能14%,第二层钛合金板吸能41%。结合机理分析与结构能量吸收特性,本研究探讨了钛合金板在不同层间位置对整体耗能能力的影响,并进一步改进和优化其层间结构,发现将钛合金板置于最后一层可最大限度提高结构的能量吸收能力,但会导致明显鼓包现象。

源自: WU Y D, LU W C, YU Y L, et al. The energy absorption characteristics and structural optimization of titanium/UHMWPE fiber metal laminates under high-speed impact[J]. International Journal of Impact Engineering, 2025; 195: 105097.



美国密歇根州立大学研究了高压爆炸荷载下玻璃纤维增强热塑性复合材料面板的损伤机理

复合材料面板因其优良的能量吸收性能、轻质特性及强大的抗冲击能力,在抗爆和抗冲击领域展现出广阔的应用前景。美国密歇根州立大学与美国陆军地面车辆系统中心联合开展了对玻璃纤维单向增强热塑性复合材料-金属(铝)混合面板的爆破试验。文中详细介绍了热塑性玻璃纤维增强复合材料的热压固化工艺以及复合金属混合板的制造流程。通过自由活塞冲击管爆轰装置,对该复合金属混合板进行了爆炸试验,分析了在爆炸冲击作用下该复合材料板的动态响应及塑性变形;在实验过程中采用环形投影技术实时获取面板损伤和变形特征,并利用无损检测方法评估爆破后复合板的损伤情况。基于这些响应特征,在LS-DYNA中建立了爆轰装置及复合面板的有限元模型,该模型计算得到的复合材料背面的永久变形为5.00 mm,与实验平均值4.71 mm相比,相差仅为5.8%;同时,该模型能够较好地描述在爆炸作用下复合板出现的分层特征,其分层特征量化参数与实验数据相吻合。

源自: PATTON E G, ROBERT J H. Experimental and computational investigation into the damage mechanisms in composite metal hybrid panels subjected to high pressure blast loading[J]. International Journal of Impact Engineering, 2024; 190: 140970.

(中国工程物理研究院化工材料研究所 董奇 张锐 北京理工大学 黄广炎 编译)

