

军用防弹防爆方舱主要材料与结构

李良春, 张会旭, 牛正一, 张俊坤, 周冰
(陆军军械技术研究所, 石家庄 050000)

摘要: **目的** 提高军用方舱的防护性能, 满足机动作战、立体攻防的总体要求。**方法** 分析军用方舱在现代战争中面临的主要威胁, 并对防爆防弹方舱的主要防护材料及防护结构进行对比研究。**结论** 研制成本低、强度高、质量轻、体积小的高性能纤维复合材料和新结构是军用防爆防弹方舱的发展方向。

关键词: 防爆防弹; 方舱; 复合材料; 结构

中图分类号: TJ811 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0037-04

Main Materials and Structures of Military Explosion-proof and Bullet-proof Shelter

LI Liang-chun, ZHANG Hui-xu, NIU Zheng-yi, ZHANG Jun-kun, ZHOU Bing
(Ordnance Engineering Institute, Shijiazhuang 050000, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the protective performance of the military shelter and meet the overall requirements for maneuver warfare and stereoscopic attack and defense. The main threats to military shelter in modern warfare were analyzed, and the main protective materials and structures of military explosion-proof and bullet-proof shelter were compared and studied. The high performance fiber composite materials and new structure featured by low cost, strong strength, light weight and small volume are the development direction of the military explosion-proof and bullet-proof shelter.

KEY WORDS: explosion-proof and bullet-proof; shelter; composite material; structure

军用方舱最早起源于 20 世纪 50 年代的朝鲜战争, 美军将战场上军用机动作战设备事先安装在集装箱中并调试好, 由此形成了军用方舱的雏形。经过 60 多年的发展, 军用方舱已成为承载地面机动设备和军事人员的主要装备^[1]。随着现代战争的全域化、机动化, 面临着复杂的电磁环境以及先进制导武器的大量使用, 军用方舱在战场上受到了前所未有的威胁。由此, 提高军用方舱的防爆防弹性能刻不容缓, 同时, 军用方舱在发展上也必须满足机动作战、立体攻防的要求, 适应高机动部队轻型装甲车装甲防护、防爆防弹发展的步伐。

现代战争是由精确制导武器和电子信息对抗为主导的战场^[2]。西方发达国家精确制导武器的使用比例在海湾战争(1990 年)中为 8%, 在波黑战争(1995 年)时上升至 69%, 科索沃战争时(1998 年)高达 98%, 伊拉克战争(2003 年)中美国快速压倒性的制胜完全取决于其超高精确的制导武器和领先于世界

水平的电子信息对抗技术^[3]。除精确制导武器外, 各种制导导弹、空地导弹、反辐射导弹、巡航导弹、空空导弹等都会对战场上的军用方舱造成巨大的威胁。现代战场上的军用方舱极易成为各种精确制导武器和导弹的打击对象, 不具备防爆防弹能力的方舱其舱载设备和军事人员很难发挥实战作用。

1 军用防爆防弹方舱发展现状

美军 S-658 方舱^[4]舱体采用凯夫拉 29 层压复合材料(环氧树脂质量分数为 45%)制作的大板, 厚度为 63.5 mm, 内侧粘有薄铝板。采用蜂窝状板芯, 并设有凯夫拉/玻璃纤维复合而成的盒状加强肋。该方舱防爆防弹能力可承受持续热脉冲 3 s, 经受 69 kPa 超高压, 可承受常规弹药的射击、破片的洞穿和武器的攻击。

美军 S-280 电子设备方舱^[5]舱体采用铝蜂窝材料

收稿日期: 2017-09-15

作者简介: 李良春(1967—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为装备供应保障。

和凯夫拉 49 层压复合材料。凯夫拉层压复合材料选取 0.23 kg/m^2 的凯夫拉 49 纤维, 分为 9 层, 使用环氧树脂层层加压、粘接、固化。铝蜂窝材料选取密度为 130 kg/m^3 、厚为 3.2 mm 的铝蜂窝。该方舱防爆防弹能力可经受 50 kPa 超高压, 能抵御 7.62 mm 子弹的射击和 40 g 、弹着速度为 600 m/s 破片的洞穿。

德军“泰斯普瑞克”方舱^[6]采用 6.1 m 的 ISO 标准集装箱, 该方舱可在极端温度 ($-32 \sim +55^\circ\text{C}$) 下正常工作, 可全方位抵御射击距离 $>30 \text{ m}$ 、初始速度 890 m/s 的 $7.64 \text{ mm} \times 54 \text{ mm}$ 阻击步枪子弹。

2 军用防爆防弹方舱的主要材料

军用防爆防弹方舱的主要材料为以陶瓷、玻璃纤维、凯夫拉纤维 (AF)、超高分子量聚乙烯纤维 (UHMWPE)、聚对亚苯基苯并双恶唑纤维 (PBO) 为基质的复合材料, 其不仅要求具备较好的防爆防弹性能, 而且在高湿度、极端温度等恶劣环境下使防爆防弹性能不受影响。

2.1 陶瓷复合材料

陶瓷复合材料以陶瓷为面板, 纤维复合材料为背板, 具有重量轻、工艺简单、成本低、设计性较强等特点。瑞典的 CV9040 步兵战车采用陶瓷装甲, 可抵御 14.5 mm 穿甲弹。瑞士的“皮兰哈”II 装甲人员输送车的两侧安装了陶瓷装甲, 可抵御 12.7 mm 穿甲弹^[7]。

2.1.1 陶瓷

面板用陶瓷要求具备“三高”特性, 即高硬度、高耐磨性、高压缩强。军用方舱防爆防弹材料应用最多的陶瓷有二硼化钛 (TiB_2)、碳化硼 (B_4C)、碳化硅 (SiC)、氧化铝 (Al_2O_3) 和氮化硅 (Si_3N_4)。综合分析可知, 二硼化钛 (TiB_2)、碳化硼 (B_4C)、碳化硅 (SiC) 的弹药质量因素较高, 具有优良的防弹性能; 氧化铝 (Al_2O_3) 的弹药质量因素较低, 但其防弹性能仍优于金属材料; 二硼化钛 (TiB_2) 抗弹性好, 硬度高, 但密度较大, 不适用作轻型机动型防弹装甲; 与二硼化钛 (TiB_2) 相比, 碳化硼 (B_4C) 密度小, 但价格较高。

2.1.2 背板用纤维复合材料

背板用纤维复合材料要求具有强度高、变形能力较大和一定的刚度。早期背板用陶瓷复合材料将氧化铝 (Al_2O_3) (85%) 粘结在玻璃纤维制成的衬板上形成防弹板, 其单着弹防弹性能较好、成本低。为进一步提高防弹性能, 目前背板用复合材料大多采用性能更好的凯夫拉纤维 (AF)、超高分子量聚乙烯纤维 (UHMWPE) 作为衬板, 但无法解决受冲击易碎的问题。

2.2 玻璃复合材料

玻璃纤维为基质的复合材料密度大、质量轻, 拉伸强度和压缩强度较大, 其防爆防弹能力可达到钢的 3 倍以上, 但在受到弹片和碎片冲击时易碎。美军“布雷德利”复合装甲型步兵战车选取 S-2 玻璃纤维/聚酯树脂复合材料为防弹材料, 同时在战车外侧嵌有高强度陶瓷, 可防御 54 式手枪 51-1 式钢芯弹和 53 式普通弹等的射击。

2.3 凯夫拉复合材料

凯夫拉纤维材料 (另称芳纶纤维) 是一种芳香族聚酰胺有机纤维。凯夫拉 49 的拉伸强度为 2756 MPa , 模量为 124 GPa , 断口伸长率为 2.5% , 密度为 1.44 g/cm^3 , 纤维不会熔化。以凯夫拉纤维为基质的复合材料具有质轻、强度高、抗破坏能力强、断后伸长率好和不易碎等特点。美军 S-280 方舱、M113A3 两栖装甲车、俄罗斯 BTR-90 装甲车以及瑞典 CV90 装甲战车均选用凯夫拉纤维 (AF) 复合材料制作防爆防弹板, 以抵抗穿甲弹和杀伤弹的冲击破坏^[8]。凯夫拉纤维织物 (AF)/环氧树脂复合材料制成的方舱大板, 具有抗腐蚀, 不助燃, 抗霉菌, 耐潮湿、雨淋和盐雾, 收缩率低, 密封性好等特点; 对雷达波、激光和红外反射强度低, 具有一定的吸收和散射电磁波的能力, 有利于隐蔽方舱的目标特性; 不易腐蚀 (包括电腐蚀), 维护或维修工作量小, 成本低。

2.4 超高分子量聚乙烯纤维复合材料

超高分子量聚乙烯纤维 (UHMWPE) 复合材料的性能特点: 强度超高, 防弹性能优异, 单位粗细的 UHMWPE 纤维最大可承受 $30 \sim 40 \text{ N}$ 的力, 与防弹性能突出的凯夫拉纤维相比, 其防弹性能还要高约 25% ; 密度低, 质量轻, 适用于轻型防弹板, UHMWPE 纤维密度为 0.97 g/cm^3 , 比水轻, 在同等的防弹防爆能力下, UHMWPE 纤维复合材料防弹板质量相对于其他纤维复合材料可减轻约 $30\% \sim 40\%$; 稳定性好, 耐气候老化性良好, 可在极端温度下正常使用; 结构致密, 化学惰性强, 使用温度可低至 -150°C , 强酸、强碱以及其他有机溶剂对其强度无影响, 试验表明 UHMWPE 纤维在户外暴露 18 个月后仍可保留 70% 的强度; 耐磨性良好, 挠曲寿命较长, 在现有高性能纤维中耐磨性能、耐弯曲性能和张力疲劳性能最突出; 耐热性较差, 压缩性不理想, 存在一定可燃性, 价格昂贵。

UHMWPE 纤维与基体树脂通过界面结合能成为性能优越的复合材料, 常用的改性方法包括化学改性法、等离子体处理、电晕处理、辉光放电处理、表面辐射处理等, 通过改性能提高抗蠕变、耐热性能、剪切强度、粘结性、润湿性、耐磨性, 扩大了应用范围^[9]。

2.5 聚对亚苯基苯并双恶唑纤维 (PBO) 复合材料

PBO 纤维是高性能纤维中各项性能优异的新一代纤维,其拉伸强度、拉伸模量、耐热性能和耐磨性都远远优于其他纤维^[10],同时还具备绝热性好、蠕变低等优点。受制于制备技术和高成本,该纤维的研制应用仍处于初步尝试阶段,亟待进一步发展。

2.6 主要材料性能对比

从拉伸强度、密度、拉伸模量、易碎性、耐磨、经济性等方面对陶瓷、S-2 玻璃、凯夫拉纤维、UHMWPE 纤维、PBO 纤维进行性能分析对比,见表 1。

表 1 防爆防弹方舱的主要材料性能对比

Tab.1 Performance comparison of the main materials of explosion-proof and bullet-proof shelter

种类	拉伸强度	密度	拉伸模量	易碎性	耐磨性	经济性
陶瓷	★	★★	★	★★	★	★★★
S-2玻璃	★★★★	★★★	★★	★★★★	★	★★★★
凯夫拉纤维	★	★★	★★	★	★★	★★★
UHMWPE纤维	★★★★	★	★★★★	★	★★	★
PBO纤维	★★	★	★★	★	★★★★	★

注: ★代表等级

综合分析表 1 可知,UHMWPE 纤维和 PBO 纤维综合性能优异,但其价格昂贵、成本较高,技术仍处于探索阶段,研制生产成本低、强度高、质量轻、体积小的 UHMWPE 纤维/钢板或聚酯复合材料成为军用防爆防弹方舱材料的研制方向。当前应用最为成熟广泛的是凯夫拉纤维复合材料,其中以凯夫拉/环氧树脂复合材料的应用最为突出。

3 防爆防弹方舱的主要结构形式

3.1 主要结构形式

防爆防弹方舱依据防爆防弹板(层)与方舱的相对位置结构关系,通常分为 2 种结构:模块式附加结构和整体式结构^[11]。

3.1.1 模块式附加结构

模块式附加结构是通过螺栓或其他联接方式将数块标准防弹板联接组合,披挂在方舱的内、外表面,该结构的任何一块标准防弹板发生损坏时可拆卸替换,通常有外蒙皮、内蒙皮、混合式等 3 种结构,见图 1^[12]。

3.1.2 整体式结构

整体式结构指防爆防弹层与方舱大板完全粘成一体,该结构根据粘结位置通常分为内粘和外粘等 2 种结构^[13],见图 2^[12]。

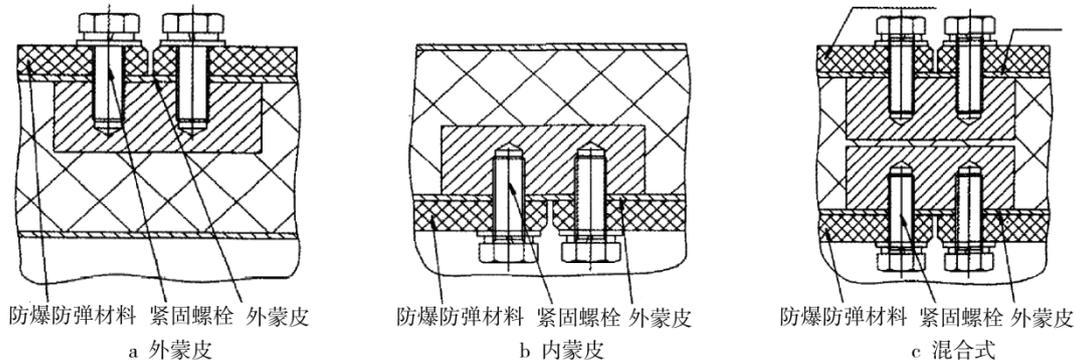


图 1 模块式附加结构

Fig.1 Additional modular structure

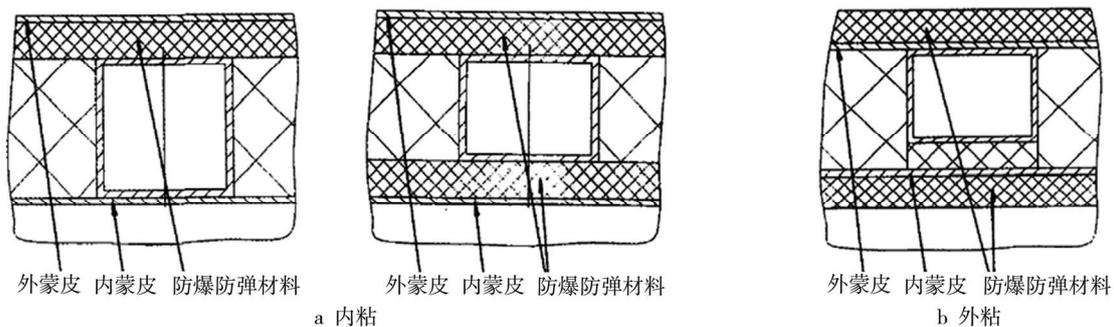


图 2 整体式结构

Fig.2 Integral structure

3.2 结构特点分析

从防爆防弹性能、储运性、架设撤收难度、通用性、经济性等方面对防爆防弹方舱的2种结构进行特点分析对比可知,模块式结构与整体式结构在性能上特点优异,各有千秋。模块式结构储运方便,通用性高,工艺简单成本低,但其防爆防弹性能弱于整体式结构。整体式结构具有良好的防爆防弹性能,但其工艺复杂成本高,维修难度大,日常维护费用高,专用性强,不具备通用性^[14-15]。

4 结语

军用方舱是各国家武器装备系统的重要组成部分,随着现代战争形势的不断严峻和各种武器导弹技术的高速发展,提高军用防爆防弹方舱的防护性能,推动军用防爆防弹方舱技术的快速发展刻不容缓。通过分析对比军用方舱主要防护材料与结构的性能特点,进一步提高已有材料的防爆防弹性能,降低新型高性能纤维复合材料的生产成本,研制轻量化机动化结构是军用防爆防弹方舱技术发展的重大趋势。

参考文献:

- [1] 张佐光, 宋焕成, 张大兴, 等. 轻质防弹复合材料技术发展与研究[C]// 航空复合材料预研二十年回顾展望研讨会, 2001.
ZHANG Zuo-guang, SONG Huan-cheng, ZHANG Da-xing, et al. Development and Research of Lightweight Bulletproof Composite Materials[C]// Aeronautical Composites Pre-research 20-Year Retrospect and Prospect Seminar, 2001.
- [2] CLOVER J, SHERMAN F, GREENDALE J. Technical Objective Document for Shelter Systems[J]. Technical Objective Document for Shelter Systems, 1990.
- [3] GAUL E J, WILLIAMS J S. New Hardened Tactical-Shelter[J]. National Defence, 1985(2): 46—48.
- [4] 袁宝生. 论军用方舱的防爆和防弹[J]. 方舱与地面设备, 2008, 2(3): 106—112.
YUAN Bao-sheng. Discussion of Explosion Protection and Bullet-proof of Military Shelter[J]. Shelter and Ground Equipment, 2008, 2(3): 106—112.
- [5] 史宣琳, 刘玉财. 我国军用方舱的现状与发展趋势[J]. 方舱与地面设备, 2006, 9(1): 8—10.
SHI Xuan-lin, LIU Yu-cai. Explosion-proof and Bulletproof of Military Cabin in China[J]. Shelter and Ground Equipment, 2006, 9(1): 8—10.
- [6] 熊立. 军用方舱(厢式车)的防爆和防弹[J]. 方舱与地面设备, 2007(3): 23—24.
XIONG Li. Explosion-proof and Bullet-proof for Military Shelters[J]. Shelter and Ground Equipment, 2007 (3): 23—24.
- [7] 袁宝生. 国外方舱现状与发展趋势[J]. 方舱技术, 1998(4): 23—26.
YUAN Bao-sheng. The Status and Development Trend of Foreign Cabin[J]. Shelter Technology, 1998(4): 23—26.
- [8] 傅国强. 关于战术方舱复合材料结构成本和重量的探讨[J]. 方舱技术, 1992(1): 11—14.
FU Guo-qiang. Discussion on the Structure Cost and Weight of the Tactical Shelter Composite Materials[J]. Shelter Technology, 1992(1): 11—14.
- [9] 袁宝生. 世界新军事变革及其对军用方舱发展的影响[J]. 方舱与地面设备, 2006, 5(4): 1—12.
YUAN Bao-sheng. The world's New Military Revolution and Its Impact on Development of Military Shelters[J]. Shelter and Ground Equipment, 2006, 5(4): 1—12.
- [10] 王刚, 洪波. 超高分子量聚乙烯纤维的应用及表面处理[J]. 方舱与地面设备, 2006, 5(1): 29—31.
WANG Gang, HONG Bo. Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fiber Application and Surface Treatment[J]. Shelter and Ground Equipment, 2006, 5(1): 29—31.
- [11] 王亚平. 方舱表面“三防”技术研究[J]. 方舱与地面设备, 2014(1): 5—8.
WANG Ya-ping. Study on the Three-defense Technology of the Shelter Surface[J]. Shelter and Ground Equipment, 2014(1): 5—8.
- [12] 邢艳玲, 王小东, 温浩. 防爆防弹方舱防护设计构想[J]. 方舱与地面设备, 2012(2): 1—4.
XING Yan-ling, WANG Xiao-dong, WEN Hao. The Conception of Protection Design of Explosion-proof Bullet-proof Shelter[J]. Shelter and Ground Equipment, 2012(2): 1—4.
- [13] 王政, 王雪丽. 军用方舱发展趋势[J]. 装备/技术, 2009, 4(2): 70—72.
WANG Zheng, WANG Xue-li. The Development Trend of Military Shelter[J]. Equipment/Technology, 2009, 4(2): 70—72.
- [14] 王小东, 温浩. 军用防爆防弹方舱防护技术探讨[J]. 专用汽车, 2012, 5(2): 70—72.
WANG Xiao-dong, WEN Hao. Discussion of Protection Technology for Military Explosion-proof and Bullet-proof Shelter[J]. 专用汽车, 2012, 5(2): 70—72.
- [15] 张峻峰. 装甲防暴车和军用防爆防弹方舱[J]. 方舱与地面设备, 2007(4): 1—4.
ZHANG Jun-feng. Armored Car and Military Explosion-proof and Bullet-proof Shelter[J]. Shelter and Ground Equipment, 2007(4): 1—4.