

# 氧化铝-铝轻型复合装甲

孙长义 张连杰

## 一、引言

长期以来,防弹装甲主要是金属装甲,其材料一般为具有一定含碳量的镍铬钼钒、镍铬钼、铬钼、锰钼等系列的均质钢,以及与此有关的渗碳非均质钢、双硬度钢等,是火炮战车、主战坦克等使用的主体装甲材料。但对于飞机来说,上述金属装甲的重量就太大了。

据报道,为了改善飞机装甲防护,国外早已重视轻型装甲的研究,并在陶瓷复合装甲的研制方面取得了较大的进展;七十年代以来,轻型的陶瓷复合装甲已开始装备各类机种,对机组人员及关键设备提供有效的防护。

同时,在现代常规战争中,如何对付集群坦克的进攻,已是军事上的一个重要研究课题。国外有人认为,以先进攻击型直升机实施对地攻击,是对付集群坦克进攻的有效手段之一。美国、加拿大、西德曾联合进行了一次以武装直升机攻击配有高炮加强的坦克的模拟试验。被“击毁”的结果是1:19,直升机取胜<sup>[1]</sup>。据了解,一些主要工业发达国家都竞相研制和生产各种型号的先进攻击直升机,即武装直升机。为了提高武装直升机在战斗中的生存率,也广泛使用轻型陶瓷复合装甲。

轻型陶瓷复合装甲,一般是将硬而脆的陶瓷材料作为受弹面板,而将硬度较低、韧性较好的树脂、增强塑料或合金作为吸收能量的背板。目前,这类复合装甲的陶瓷材料主要是氧化铝、碳化硅及碳化硼,背衬材料主要是玻璃纤维增强树脂, Kevlar-49纤维增强树脂及铝合金等。表1所列为几种装甲材料的防弹性能<sup>[2]</sup>。与传统的防弹钢相比,陶瓷复合装甲不仅重量轻,而且防弹性能好,充分显示了用它作飞机

防弹的优越性。

表 1 阻挡7.62毫米口径穿甲弹(初速下)所需的装甲重量

装 甲 材 料	面积密度*, 公斤/米 <sup>2</sup>
均质钢	98
双硬度钢	59
氧化铝-玻璃钢复合	46~49
碳化硅-玻璃钢复合	42~44
碳化硼-玻璃钢复合	34~37

\* 指保证给定的弹道防护水平下,单位面积装甲材料的重量。

目前,由于各种原因,国内各类机种的防弹装甲,基本上仍沿用防弹钢板,这是不合理的。为了改善这种状况,对美制UH-1武装直升机座椅的轻型复合装甲实物进行了综合分析,并与自制的复合装甲作了打靶对比试验。

## 二、UH-1武装直升机复合装甲

美制UH-1武装直升机装有两把驾驶员座椅,每一座椅有四块复合装甲:后背、左右两侧及座底各一块。形状各异,结构雷同。

图1为座椅后背装甲实物,轮廓尺寸700×445毫米,重15.5公斤。装甲的结构如图2所示。军用帆布(尼龙织物)与陶瓷之间,陶瓷与铝合金之间均用胶粘结。铝合金为整板,陶瓷层由不同尺寸的小块拼粘而成。陶瓷块的各面,都进行过磨加工,因此拼缝致密,与铝合金层接触良好,保证了装甲在受射弹冲击时,有较好的传力过程。

铝合金层厚6.5毫米,为美国2024合金,呈淬火后自然时效状态。室温机械性能: $\sigma_{0.2}=22.4$ 公斤/毫米<sup>2</sup>,  $\sigma_b=41.2$ 公斤/

毫米<sup>2</sup>,  $\delta = 15.3\%$ ,  $E = 7200$  公斤/毫米<sup>2</sup>。

陶瓷层厚约 9.0 毫米, 为含  $Al_2O_3$  约 94% 的一般陶瓷板, 经测定, 其密度为 3.80 克/厘米<sup>3</sup>, 硬度  $HRA = 88.9$ 。用射频进行检测, 超声波在陶瓷中的传播速度为 10060 米/秒, 弹性模量为 39000 公斤/毫米<sup>2</sup>。与一般资料<sup>[3]</sup> 数字相符。

织物经红外光谱定性分析表明为尼龙 6。厚度 0.27 毫米, 呈双纱平纹组织。经线密度 100×2 根/10 厘米, 纬线密度 85×2 根/10 厘米, 纱线支数为 9 公支, 纤维细度为 30 微米。

陶瓷块与铝合金板中间的胶层厚度约 0.5 毫米, 为聚硫类密封橡胶。织物与陶瓷之间的胶为酚醛和丁腈类胶。

经测定, 该装甲面积密度等级为 53~54 公斤/米<sup>2</sup>。

为了与美制复合装甲进行比较, 初步试制了面积密度等级与其相当的  $Al_2O_3$  陶瓷-铝合金复合装甲。

### 三、靶试与讨论

在室内靶场进行 12.7 及 7.62 毫米口径射弹的靶试, 美制 UH-1 实物靶板以 U-系列编号, 试制靶板以 S-系列编号。

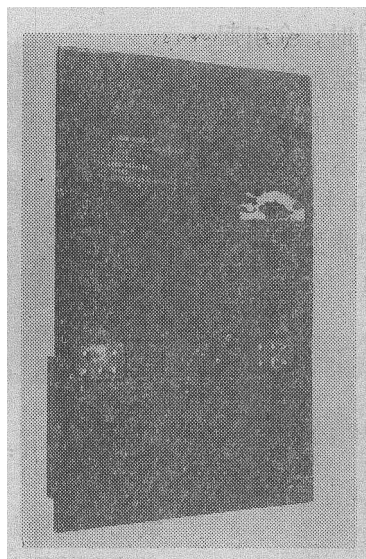


图 1 美制 UH-1 直升机座椅后背陶瓷复合装甲

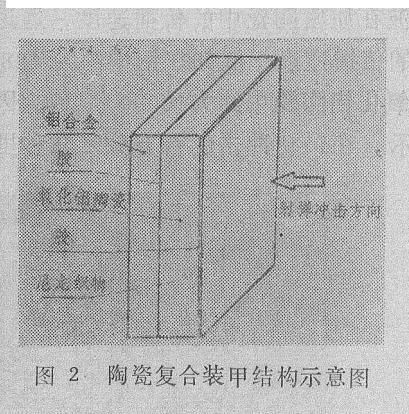


图 2 陶瓷复合装甲结构示意图

靶试结果见表 2。

表 2 复合装甲打靶试验结果

靶板编号	靶板尺寸毫米	射弹口径毫米	射弹型别	射角度度	射弹着靶速度, 米/秒	结果	备 注
U-32	152×152	12.7	穿甲燃烧弹	60	790	洞穿	陶瓷有拼缝
U-11	221×216	12.7	穿甲燃烧弹	60	788	洞穿	
U-33	152×152	12.7	穿甲燃烧弹	60	638	洞穿	
U-12	221×216	12.7	穿甲燃烧弹	60	641	洞穿	
U-14	221×216	7.62	一般钢弹	0	800	安全	
U-17	221×216	7.62	一般钢弹	0	800	安全	
U-35	152×152	7.62	一般钢弹	0	811	安全	
U-36	152×152	7.62	一般钢弹	0	1008	安全	
S-2	162×162	7.62	一般钢弹	0	803	安全	
S-3	162×162	7.62	一般钢弹	0	805	安全	
S-4	162×162	7.62	一般钢弹	0	823	安全	二次打靶后洞穿
S-5	162×162	7.62	一般钢弹	0	840	安全	
S-6	162×162	7.62	一般钢弹	0	812	安全	
S-7	162×162	7.62	一般钢弹	0	984	安全	
S-8	162×162	7.62	一般钢弹	0	798	安全	
S-9	162×162	7.62	一般钢弹	0	803	安全	
S-10	162×162	7.62	一般钢弹	0	805	安全	

据报导<sup>[4]</sup>，当射弹射击装甲时，会引起冲击波。冲击波以材料各自传递声波的速度，分别传递通过陶瓷与射弹。因材质不同，冲击波在质密陶瓷中的传播速度，远远大于在钢中的传播速度，例如在钢中约为4880米/秒，在氧化铝陶瓷中约为10000米/秒。因此如图3所示，在最初冲击的百万分之几秒里，在射弹中

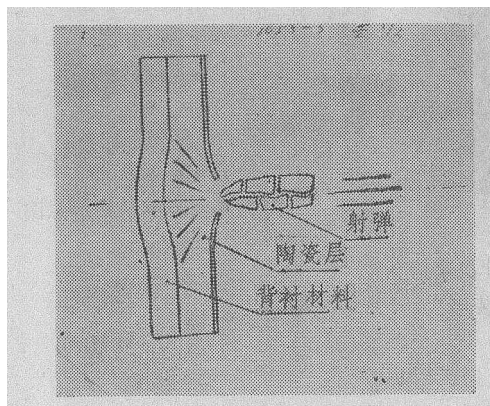


图3 陶瓷复合装甲防弹机理示意图

产生强烈的冲击波，使射弹弹核破碎，并消耗掉约40%的能量。同时，陶瓷因射弹冲击而产生的破断，则呈现一种由冲击点辐射开去的圆锥面。这种裂锥面，把射弹冲击的剩余能量，传向内表面比射弹直径要大得多的范围内，有效地防止了射弹局部载荷超过背衬材料的剪切强度。很明显，陶瓷复合装甲的防弹性能极大地取决于复合装甲的材质、组分的良好复合以及最佳的配比等。当然也与射弹冲击时的条件，如射弹类别、口径、速度、着靶角度等因素有关。

从实际靶试情况可以看到，美制UH-1直升机座椅防弹复合装甲，完全不能承受60°入射角的12.7毫米口径射弹的冲击，即使把着靶时的射弹速度降为630~640米/秒（相当于820米/秒初速，500米射距），也照样洞穿。图4为靶板被击穿后的实物，为了观察清楚，已将表面层尼龙织物揭起。由于有一定的射角，因此表明弹着点的陶瓷碎裂辐射状中心点，与铝合金层的洞穿孔不重合。

曾报导<sup>[5]</sup>，射弹速度在1千米/秒以下时，

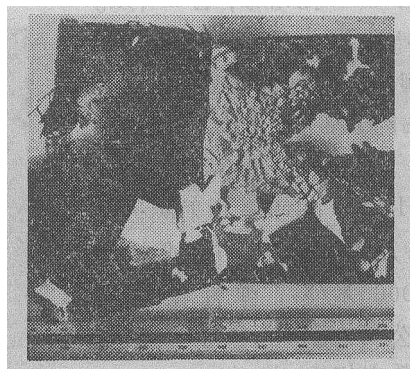


图4 U-32靶板被击穿后的状况

靶试条件：12.7毫米穿甲燃烧弹；60°射击角；790米/秒着靶速度。

氧化铝陶瓷是一种有效的装甲材料，阻挡一般弹头所需要的氧化铝厚度，大致与射弹速度成线性关系。但当射弹速度达到2千米/秒至3千米/秒时，所需氧化铝厚度就比上述线性关系外推法得到的值要大<sup>[6]</sup>。

在我们的试验条件下，对于7.62毫米射弹的冲击，无论是美制装甲，还是试制的装甲，如表2所示，均具有良好的防护，即使着靶速度达到1000米/秒左右，装甲仍属安全防护。由于一般火器的弹速远不能达到2千米/秒，因此上述装甲对于7.62毫米口径射弹可有安全的防护。图5与图6为靶试后的实况，陶瓷虽呈辐射状碎裂，但铝合金层仅稍有变形。美制装甲铝合金层凸起约4毫米，试制装甲凸起只约2毫米。铝合金层均无裂缝。



图5 S-7靶板靶试后的实况

靶试条件：7.62毫米口径一般钢弹；0°射击角；984米/秒射弹着靶速度。



图 6 U-36靶板靶试后的实况(揭去尼龙布)  
靶试条件: 7.62毫米口径一般钢弹; 0°射击角;  
1008米/秒射弹着靶速度。



图 7 S-3靶板靶试后, 陶瓷中呈现的清晰的裂锥面  
靶试条件: 7.62毫米口径一般钢弹; 0°射击角;  
805米/秒射弹着靶速度。



图 8 U-14靶板靶试后实况  
靶试条件: 7.62毫米口径钢弹; 0°射击角;  
800米/秒射弹着靶速度。

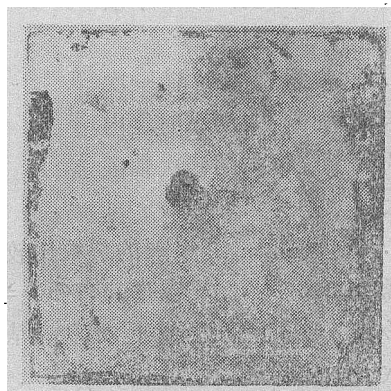


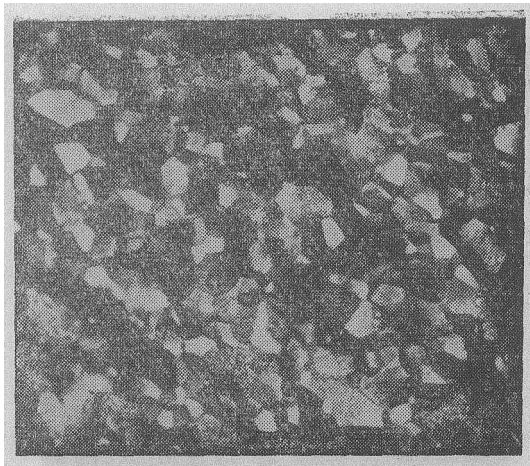
图 9 S-9靶板二次射靶后洞穿情况, 照片从铝合金层处观察  
靶试条件: 7.62毫米口径一般钢弹; 0°射击角;  
803米/秒着靶速度射击后再射击。

射弹冲击陶瓷复合装甲后, 因陶瓷材料激烈地飞溅, 难于完整地观察到裂锥面的形状。图 7 是 7.62 毫米口径钢弹, 以 805 米/秒的着靶速度垂直冲击 S-3 靶后的情况。从图可以清楚地看到, 受射弹冲击后, 复合装甲陶瓷面板中呈现一个圆锥体。锥体的顶点为射弹冲击点, 圆锥体的顶角约  $101^\circ$ 。破裂呈层层锥面围绕此锥体剥离, 碎裂陶瓷为扇形瓦状薄片, 在辐射方向上向外扩展。形象显示陶瓷复合装甲防弹时, 射弹能量被消耗吸收的模式, 与一般理论分析<sup>[4,7]</sup>相符。

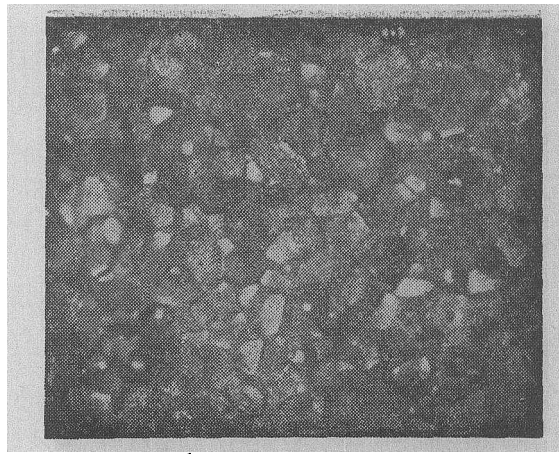
U-14 靶板的陶瓷层, 是由两块陶瓷拼接而成。图 8 表示射弹打在拼缝附近时裂纹的分布情况。弹击点离拼缝的距离为 4 厘米。由于拼

缝的存在, 裂缝基本上不通过拼缝传向另一块陶瓷。这一事实表明, 采用拼接陶瓷块的方法与整块陶瓷相比较, 一方面使得小块陶瓷易于制作、加工, 同时也使得在设计复合装甲部件时, 结构与布置简化。然而随着陶瓷块缩小, 势必增加拼缝的数量, 使射弹击中拼缝的几率增加。以图 1 所示的实物为例, 拼缝的平均宽度为 0.5 毫米。若陶瓷块的线性尺寸缩小一半, 经估算, 射弹击中拼缝的几率增加近 1%

与一般金属装甲相比, 由于陶瓷块的碎裂, 陶瓷复合装甲抗多发弹的性能差。S-9 靶板在 7.62 毫米口径钢弹, 803 米/秒着靶速度零度射 (下转第 46 页)



a. 斜照明 ×6



b. 垂直照明 ×6

图 16 沿晶断口

## 结 束 语

1. 对于粗糙的表面或断口表面的低倍照相采用斜照明之所以获得清晰的影像, 乃是斜射光线射达表面产生漫射光进入透镜造像, 而用垂直光线照明, 则粗糙表面会使多数入射光被反射散失, 且这些光线还相互干扰, 降低成像质量。

※

※

※

※

(上接第35页)

击后, 再在原处以同样条件复射, 结果如图9所示洞穿。

## 四、结 论

1. 美制UH-1武装直升机座椅防弹装甲, 系采用 $Al_2O_3$ 陶瓷与2024铝合金进行层状组合的复合装甲, 可防7.62毫米射弹在通常射速下的冲击。为早期用于飞机的一种陶瓷复合装甲。目前来看, 只属于一般水平的轻型复合装甲。

2. 该装甲使用了一般工业水平的材料, 结构简单。采用不同尺寸的陶瓷块拼接, 使陶瓷块易于制作、加工, 并使装甲部件的结构与布置简化。

3. 在国内现有条件下, 用一般工业产品的纯 $Al_2O_3$ 陶瓷及铝合金, 可以制得防弹性能

2. 作为失效分析, 需将宏观和微观分析手段、方法及其结果进行综合分析, 这不仅有益于得出正确的分析结论, 采取相应的预防措施, 避免重大事故重复发生, 而且在更多的工厂, 外场掌握了宏观分析所认识的种种失效特征, 则更具有实用价值。

3. 由于照相机结构简单, 重量小, 可携至外场使用。

与美制UH-1直升机座椅复合装甲相当的轻型复合装甲。

## 参 考 文 献

- [1] 国外航空, 1976, No.8, P.1-4.
- [2] Fine, R.A. and Haggtund, R.R., IBM Corp.—The Shock and Vibration Bulletin, No.41, Part 5, P.69-75.
- [3] AD666766, 1968.
- [4] Gardner, P.B., Norton Corp. Mass Worcester 01606, 1975.
- [5] Wilkins, M.L., Cline, C.F. and Honodel, C.A., Light Armor. UCRL-71817, 1969.
- [6] AD A038357, 1977.
- [7] 兵器材料与力学, 1980, 12, No.6, P.23-34.