

# 新型危险品防爆运输箱设计及抗爆试验研究

蔡军锋, 易建政

(军械工程学院, 石家庄 050003)

**摘要:** 分析和研究了目前装备使用的危险品防爆运输箱所存在的问题; 采用层状复合工艺, 制备了 UHMWPE-PUF 复合材料, 运用所设计的 UHMWPE-PUF 复合材料, 设计和制作了一种新型危险品防爆运输箱, 并进行了爆炸破坏性试验。研究表明: UHMWPE-PUF 复合材料可以充分发挥 UHMWPE 材料的高强度、高模量特点以及 PUF 材料较高的吸能特性, 运用该复合材料所制作的新型危险品防爆运输箱具有质量小、抗爆能力强等特点, 适用于危险品的运输储存。

**关键词:** 防爆运输箱; UHMWPE-PUF 复合材料; 抗爆试验

**中图分类号:** TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)05-0006-03

## Design and Explosion Test of New Explosion-proof Transport Case for Dangerous Article

CAI Jun-feng, YI Jian-zheng

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** The existing problems of present dangerous transport cases were studied. UHMWPE-PUF composite material was prepared in laminated composite technology. A new dangerous transport case was developed by using UHMWPE/PUF composite material and explosive destructive experiment was carried out. The results showed that UHMWPE-PUF composite material can improve maximally not only the strength but also shock wave attenuation properties of the material; the weight of new dangerous transport case was reduced with improved anti-detonation ability.

**Key words:** explosion-proof transport case; UHMWPE-PUF composite; explosion test

危险品防爆运输箱是在运输炸药、弹药、雷管等危险品时所采取的安全防护装置。它的特点是当内装爆炸品因某种原因发生意外爆炸时, 不会导致箱外人员、物品的伤害和损坏, 甚至声音都很小。同时, 当外界爆炸物爆炸时, 在殉爆安全距离内, 由于保险箱的保护, 不会引起箱内所装爆炸物发生殉爆, 或者当外界发生火灾时, 不会对箱内的爆炸品产生影响, 至少在短时间内不产生影响<sup>[1-2]</sup>。

目前, 广泛装备部队及铁路运输部门的危险品防爆运输箱基本上是铁皮加木头结构, 其存在的主要问题有: 一是结构笨重, 其材料主要是铁皮和木板组成, 外层是铁皮, 一般厚度为 2~4 mm, 内层为木板, 厚度一般不小于 40 mm, 在铁皮和木板之间有一个石棉

层, 由于所用材料的密度较大, 因此, 整个保险箱非常笨重, 质量一般在 50 kg 以上; 二是防爆能力较差, 从材料上看, 其防爆箱主要靠木板条和铁皮来衰减冲击波, 从而达到防爆的目的, 木板的防爆能力较弱, 虽然铁板的防冲击波能力较强, 但如果靠钢板来防爆, 这样会更加增大防爆箱的质量; 三是防爆箱结构不太合理, 从运输角度考虑, 长方体易于装载、放置, 因此目前防爆箱形状为长方体结构, 但从防爆角度来看, 长方体形状的防爆容器抗爆性能较差<sup>[3]</sup>。

笔者就现装备的危险品防爆运输箱所存在的问题, 采用层状复合工艺, 制备了 UHMWPE-PUF 复合材料, 设计和制作了一种新型危险品防爆运输箱, 并进行了爆炸破坏性试验, 以研究其抗爆性能。

**收稿日期:** 2011-09-21

**基金项目:** 军械工程学院创新基金资助项目(201024803)

**作者简介:** 蔡军锋(1979—), 男, 河南人, 博士, 军械工程学院讲师, 主要从事装备运用环境与防护技术研究。

## 1 UHMWPE-PUF 复合材料设计

制备的 UHMWPE-PUF 复合材料所用原材料主要有 2 种。一是合成聚氨酯泡沫材料原料,其主要由羟值 480 mgOH/g 的聚醚、异氰酸根含量 30% 的 PA-PI、三乙烯二胺等组成。将聚醚多元醇和三乙烯二胺、有机锡、硅油、水混合均匀,作为 A 组分,再与预热的 PAPI(组分 B)高速搅拌聚合发泡而成。二是由超高相对分子质量聚乙烯无纺布经过有序叠合、恒温热压制成的超高相对分子质量聚乙烯板材。其设计思路是:以聚氨酯泡沫材料为基体,采用层状复合工艺,充分发挥 UHMWPE 板材较高的强度以及优异的抗冲击性能,弥补聚氨酯泡沫材料强度低的缺陷。由 2 种材料复合制作的复合材料既有很强的吸能特性,又有优异的抗爆炸破片能力,可以广泛应用于抗爆炸防护工程领域<sup>[4]</sup>。由于聚氨酯泡沫可以现场发泡,因此,可以根据具体情况,制备不同形状的复合材料。

在复合材料制备上,首先是将数层 UHMPWE 无纺布恒温热压制成具体板材;第 2 步是在 UHMWPE 板表面喷质量分数为 2% 的 KH-550 偶联剂,以增强基体材料与增强材料之间的结合度,并将已处理过的 UHMPWE 板固定于模具内;第 3 步进行聚氨酯发泡,按聚氨酯配方将原料混合,在搅拌过程中,有气泡发出、泡体发白时,立即注入已准备好的模具内发泡,材料在模具内胀定、固化,大约 30 min 后,进行脱模。

## 2 新型危险品防爆运输箱结构设计与制作

### 2.1 结构设计

《爆炸过程和防护措施》对抗爆容器结构要求有十分明确的说明,即“首先应选用轴对称结构,避免箱形结构和大平面结构”。利用弹性力学理论和高压容器设计理论,对单层和双层复合壁受压应力进行计算、对比,得出结论,复合壁在受力后得到的合成应力使内层应力有所降低<sup>[5-6]</sup>。

根据以上分析,防爆箱采用复箱设计,整个箱体由外箱和内箱组成。在理论上,圆柱形是抗爆容器的理想形状,但对于防爆箱来说,如果外箱采用圆柱体,则不利于防爆箱的储存运输,内箱采用圆柱形,则不利于放置爆炸危险品,因此,考虑多方面的因素,把防爆箱内箱结构设计为椭圆形,外箱采用长方体结构。

箱体三视图见图 1。

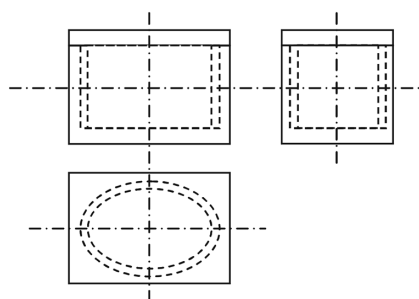


图 1 危险品运输箱箱体三视图

Fig. 1 Three view of explosive carrying coffer

### 2.2 箱体制作

危险品防爆运输箱外部箱体采用薄钢板焊制而成;内箱材料采用 UHMWPE-PUF 复合材料,此复合材料具有质量轻、衰减爆炸冲击波效果好、抗爆炸破片能力强等特点,为了使危险品运输包装箱都有更好的防外部火灾功能,在外箱和内箱之间夹放 30 mm 厚的硅酸铝板,硅酸铝材料具有优异的防火性能,这样当危险品防爆运输箱遭外部火灾时,硅酸铝板可以有效地防止外部火焰及高温的侵入。制作的危险品防爆运输箱样箱见图 2。



图 2 制作的危险品运输保险箱

Fig. 2 Photograph of the carrying coffer

制作的危险品防爆运输箱样箱外箱长×宽×高为 420 mm×380 mm×350 mm,内箱为椭圆形: $a \times b$  为 320 mm×280 mm,高为 300 mm。整个危险品防爆运输箱质量为 20.5 kg。

## 3 爆炸破坏性试验

### 3.1 过程

为了检验改进后的危险品防爆运输箱的抗爆性

能,对其进行了初步的破坏性爆炸试验。试验在某靶场爆炸试验场进行。试验用炸药采用聚黑-2 压装柱状装药,炸药装药密度为  $1.65 \text{ g/cm}^3$ ,爆速  $8\,320 \text{ m/s}$ ,威力(TNT 当量)151%,猛度(TNT 当量)130%,炸药柱直径  $3 \text{ cm}$ ,质量  $25 \text{ g}$ ,TNT 当量  $37.8 \text{ g}$ ,67 式木柄手榴弹装药为  $38 \text{ g}$  TNT 炸药,装药量与 67 式木柄手榴弹装药量威力相当,炸药壳体为碳素钢材料,采用军用 8 号电雷管起爆。试验现场见图 3。



图 3 破坏性试验起爆前现场图片

Fig. 3 Photograph before explosion experiment

### 3.2 试验结果及分析

起爆操作人员距离爆炸点  $30 \text{ m}$  左右,对炸药进行起爆,与炸药在空地爆炸声音相比,炸药爆炸声音较小并且较沉闷(如事先不知道正在进行爆炸试验,则  $30 \text{ m}$  外人员将不会意识到此声响为爆炸发生声音)。爆炸后,对整个现场进行观测,整个箱体没有发生位置移动,箱体基本完好,箱体发生凸出变形,不再显现出长方体形状,箱体外部没有发现破片穿透的孔洞,爆炸后箱体见图 4。



图 4 破坏性试验起爆后现场图片

Fig. 4 Photograph after explosion experiment

把箱盖打开进行观测,爆炸对内箱的破坏较严重,靠近炸药一侧的 PUF 材料颜色变黑,一部分已与 UHMWPE 材料脱离,成粉末状,UHMWPE 防弹板

已经变形。爆炸破片对整个箱体有很大的破坏,对于内箱来说,大部分爆炸破片被内箱材料阻挡在 UHMWPE 板内,部分爆炸破片嵌在 UHMWPE 板上,但有一少部分爆炸破片穿透整个内箱,对外箱铁皮有一定的侵彻,但无爆炸破片穿透整个防爆保险箱。

因为炸药壳体形状的影响,爆炸破片分布不均,大部分爆炸破片在箱体的 4 个侧面,而箱盖和箱底破片较少,爆炸破片对箱盖的侵彻较浅(一共有 3 个破片痕迹,但没发现破片);箱底在安放炸药位置内箱材料基本完全破坏,分析原因,其作用主要类似于聚能效应,整个炸药柱对其底部外壳定向作用,形成高温,高速爆炸破片对内箱及外箱作用。爆炸破片的绝大部分主要作用于箱体 4 个侧面,箱体 4 个侧面较为均匀地分布着破片痕迹,由于内箱 UHMWPE 板的作用,大部分爆炸破片没有穿透内箱,但在外箱 4 个内侧面也发现了爆炸破片痕迹,它们对外箱铁皮的侵彻深度不同,但没有爆炸破片穿透整个危险品防爆运输箱侧面。

## 4 结论

设计的新型危险品防爆运输箱在箱体结构上更趋于防爆容器所要求的理想化结构,箱体采用复箱结构,内箱材料运用质量轻、抗爆能力强的 UHMWPE/PUF 复合材料。爆炸破坏性试验证明此新型危险品防爆运输箱能够有效地对内部爆炸危险品意外爆炸进行隔离,并且与现装备的危险品防爆运输箱相比,防爆性能增强,箱体质量减小,能够更方便地运输储存。

### 参考文献:

- [1] 傅欣,刘玉生. 危险品包装技术研究[J]. 包装工程,2008,29(1):38-40.  
FU Xin, LIU Yu-sheng. Study of the Packaging Technology of Dangerous Product [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 38-40.
- [2] 张怀智,刘鹏,谷智国,等. 废弃爆炸物包装研究[J]. 包装工程,2009,30(2):182-184.  
ZHANG Huai-zhi, LIU Peng, GU Zhi-guo, et al. Research on the Packaging of Wasted Explosives [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 182-184.
- [3] 汪大立,孙金华. 炸药和雷管同载运输车的研究[J]. 爆破器材,1995,24(1):32-37.

胶后瓦楞纸板的边压强度为指标做正交试验,可得最佳组合条件为质量分数为 9%,SAE/氧化淀粉为 1:10,CMC 质量分数为 0.5%,施胶温度为 85℃。

试验表明,复配增强施胶剂具有增强效果好、干燥速度快、涂覆纸板表面性能好等优点,可以作为普通瓦楞纸板的专用表面增强施胶剂。

#### 参考文献:

- [1] 高德,孙智慧.可降解缓冲包装材料的现状及发展前景[J].包装工程,2002,23(5):141—144.  
GAO De, SUN Zhi-hui. Present and Future Prospect of Dissoluble Buffering Package Materials[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 141—144.
- [2] 詹新岭,朱勇强,严丽君.合成聚合物表面施胶剂的最新研究进展[J].上海造纸,2006,37(5):42—48.  
ZHAN Xin-ling, ZHU Yong-qiang, YAN Li-jun. Development of Synthetic Polymer Surface Sizing Agent[J]. Shanghai Paper Making, 2006, 37(5): 42—48.
- [3] 沈明.瓦楞原纸的表面施胶[J].江苏造纸,2007,11(4):35—45.  
SHEN Ming. Surface Sizing Application of the Corrugated Medium[J]. Jiangsu Paper Making, 2007, 11(4): 35—45.
- [4] 高德,刘壮,董静,等.瓦楞纸板包装材料的性能及其发展前景[J].包装工程,2005,26(1):1—4.  
GAO De, LIU Zhuang, DONG Jing, et al. The Property and Prospect of the Corrugated Paper Board [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 1—4.
- [5] 白春妮,韩卿.CPAM与氧化淀粉混合物用于瓦楞原纸的表面施胶[J].中华纸业,2009,30(11):82—84.  
BAI Chun-ni, HAN Qing. Surface Sizing Application of the Mixture With CPAM and Oxidized Starch In Corrugated Medium[J]. China Pulp & Paper Industry, 2009, 30(1): 82—84.
- [6] 张国运,彭莉,付旭东.阳离子 PSBD 与氧化淀粉用于瓦楞原纸的表面施胶[J].纸和造纸,2011,30(4):45—48.  
ZHANG Guo-yun, PENG Li, FU Xu-dong. Application of the Mixture with Cationic PSBD and Oxidized Starch as Surface Sizing Agent in Corrugated Medium[J]. Paper and Paper Making, 2011, 30(4): 45—48.
- [7] 余仁聪.典型瓦楞纸板基础结构件的承载性能及其强化方法研究[D].无锡:江南大学,2011.  
YU Ren-cong. Bearing Properties and Strengthening Technology of Typical Corrugated Board Based Structure [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [8] 刘亚伟.淀粉生产及其深加工技术[M].北京:中国轻工业出版社,2001.  
LIU Ya-wei. The Production of Starch and the Deep Processing Technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [9] GB/T 6546—1998,瓦楞纸板边压强度的测定法[S].  
GB/T 6546—1998, Corrugated Fibreboard-Determination of Edgewise Crush Resistance[S].
- [10] 姚献平,郑丽萍.淀粉衍生物及其在造纸中的应用技术[M].北京:中国轻工业出版社,1999.  
YAO Xian-ping, ZHENG Li-ping. Starch Derivatives and Its Application in Papermaking Technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999.
- [11] 尹继明,周伟明.CMC在表面施胶工艺中的应用技术[J].造纸化学品,2002(2):31—33.  
YIN Ji-ming, ZHOU Wei-ming. Applied Technology of CMC in Surface Sizing [J]. Paper Chemicals, 2002(2): 31—33.
- [12] 林龙平,郑丽萍,应晓荣.合成聚合物表面施胶剂[J].造纸化学品,2000(2):13.  
LIN Long-ping, ZHENG Li-ping, YING Xiao-rong. Synthetic Surface Sizing Agent [J]. Paper Chemicals, 2000(2): 13.

(上接第 8 页)

- WANG Da-li, SUN Jin-hua. Study on Truck for Transporting Both Explosives and Detonators [J]. Explosive Materials, 1995, 24(1): 32—37.
- [4] 蔡军锋,易建政,续新宇,等. UMMWPE 纤维增强聚氨酯泡沫对爆炸冲击波衰减性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程,2009,25(4):119—122.  
CAI Jun-feng, YI Jian-zheng, XU Xin-yu. Shock Wave Attenuation Properties of UHMWPE Fiber Reinforced Polyurethane Foam Plastics [J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2009, 25(4): 119—122.
- [5] 蒋伟华.基于 O 形橡胶圈密封的高压容器设计和研究 [D]. 杭州:浙江大学,2006.  
JIANG Wei-hua. Study and Design of High Pressure Vessel Based on Rubber O-ring Sealing [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [6] MANNING W R D, LABROW S. High Pressure Engineering [M]. London: Engineering Publications Limited for the Institute of Mechanical Engineering, 1977.