

# 多功能军品包装新材料设计与应用研究

臧充光, 朱祥东, 焦清介

(北京理工大学 爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 阐述了多功能军品包装的必要性和重要性;介绍了军品包装在设计时一般应满足的主要性能要求;根据军品的外、中、内包装形式,着重讨论了制备的多功能军品包装材料的设计机理、主要性能及应用。

**关键词:** 多功能; 军品包装; 设计机理; 性能; 应用

**中图分类号:** TB484; E92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)23-0046-03

## Study of New Materials Design and Application for Multi-functional Munitions Packaging

ZANG Chong-guang, ZHU Xiang-dong, JIAO Qing-jie

(National Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The necessity and importance of multi-functional munitions packaging was elaborated. The main performance requirements of multi-functional munitions packaging were introduced. According to the outer, middle, inner form of munitions packaging, the mechanism design, main performances, and application of multi-functional munitions packaging materials were discussed.

**Key words:** multi-functional; munitions packaging; design mechanism; performance; application

在军事领域,由于战场环境日趋恶化,只对军用物质进行简单包装已经很难有效保护内装物<sup>[1]</sup>。国内大多数弹药包装箱仍沿用 20 世纪五六十年代的模式,用普通塑料袋、油纸作为内包装;纸盒、木箱、铁箱作为外包装;火灾、殉爆、静电等带来的危害越来越突出<sup>[2]</sup>,特别是在弹药、火工品等易燃易爆物品的生产、运输和装配、勤务等过程中,由于摩擦、撞击、接触、分离等极易产生静电积累,造成许多燃烧、爆炸等恶性事故,也可能造成其中电子元器件失效,对其安全性和可靠性均造成严重威胁。

随着各种复合材料新技术、新工艺的问世,复合材料将越来越多地应用到兵器产品的包装上来<sup>[3]</sup>。通过应用各种物理改性、化学改性以及计算机软件(如 ANSYS)等技术对高分子材料进行改性研究,从而满足现代战争对兵器产品包装的各种严格要求,加速我国兵器包装技术的发展。笔者根据目前聚合物材料改性工作提出了多功能军品包装材料的设计方案、机理及主要性能,并简单介绍了材料的应用情况。

## 1 军品包装总体目标

针对各种弹药、引信、火工品、军用精密电子产品等对多功能包装的要求,新型内包装、外包装和缓冲包装材料与综合多功能包装技术使用材料的性能主要有<sup>[4]</sup>:防静电、防射频、防渗透(水蒸汽和气体)、高阻燃、高强度、抗冲击与震动等。

## 2 多功能军品包装总体设计与应用

根据军品包装形式(外包装、内包装、缓冲包装)的特点,试验研制的多功能复合材料,是把导电填料、电磁屏蔽填料、压电填料、阻燃填料进行一定处理后,与高分子树脂进行共混复合,可以使树脂具有防静电、防电磁、压电、抗冲击、阻燃等功能。

### 2.1 抗冲击、抗静电、阻燃外包装材料

#### 2.1.1 方案设计与实现

采用组分复合实现功能复合的设计思路,通过添

收稿日期: 2011-07-08

作者简介: 臧充光(1965—),女,北京人,硕士,北京理工大学讲师,主要从事高分子材料改性研究。

加微米橡胶粒子、抗静电剂和已申请专利的自制高效低毒有卤阻燃剂,使用双螺杆挤出机、开炼机等设备,实现了对聚烯烃(PP,PS)的改性,得到以抗冲击、高强度聚烯烃为基的抗冲击、抗静电、阻燃多功能高分子复合材料。

### 2.1.2 主要机理研究

这里主要将对聚烯烃材料的抗冲击机理研究进行阐述。在高分子材料受力过程中,银纹的法向、切向变形率分别为<sup>[5]</sup>:

$$\begin{cases} \dot{\Delta}_n^c = \dot{\Delta}_0 \exp\left[-\frac{A\sigma_c}{T}\left(1-\frac{\sigma_n}{\sigma_c}\right)\right] \\ \dot{\Delta}_t^c = \dot{\Gamma}_0 \exp\left[-\frac{A\sigma_c}{T}\left(1-\frac{\sigma_t}{\tau_c}\right)\right] - \exp\left[-\frac{A\tau_c}{T}\left(1+\frac{\sigma_t}{\tau_c}\right)\right] \end{cases}$$

式中:  $\dot{\Delta}_n^c, \dot{\Delta}_t^c$  分别为法向、切向的变形率;  $\dot{\Delta}_0, \dot{\Gamma}_0, A, \sigma_c$  和  $\tau_c$  为材料的常数;  $\sigma_n, \sigma_t$  分别为法向、切向应力;  $T$  为热力学温度。

采用六棱柱胞元结构模型表征弹性体颗粒的微观结构,聚合物的剖面见图 1,其中白色区域为弹性体颗粒。

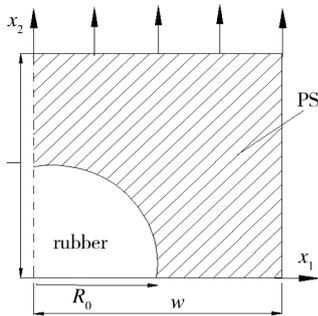


图 1 弹性体粒子切面结构

Fig. 1 Cut surface structure of elastomer particles

力学仿真模拟见图 2,通过力学仿真可知,在弹性体赤道面附近银纹单元的法向应变明显高于其它区域,尤其在空穴的赤道面上应变达到了最大值。而随着应变的进一步增大,弹性体赤道附近的微纤由于受到应力、应变集中,首先达到或超过某一临界长度时,银纹开始断裂,界面应力降为零,导致微纤断裂,并继续向  $x$  轴方向延伸,导致材料的断裂。

增韧聚合物拉伸的银纹微观图见图 3,可以看出:黑色区域为橡胶,灰色线状区域为银纹,白色区域为聚合物相,而橡胶粒子内部为连续相。拉伸过程中,橡胶粒子周围生成许多的大尺寸银纹,与上述有

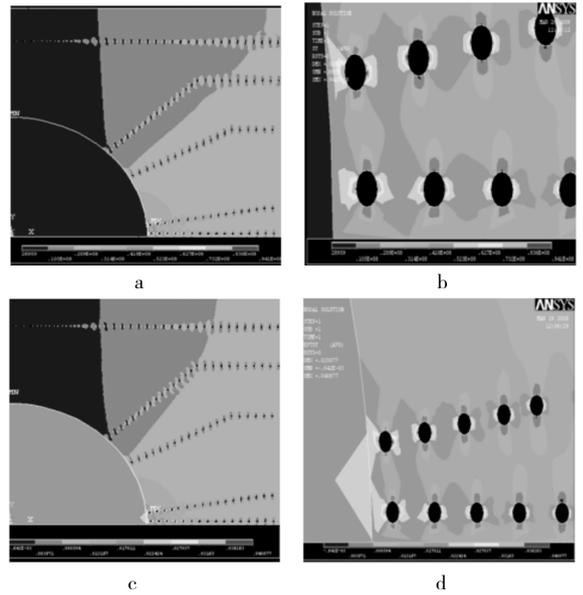


图 2 细观法向应力应变云图

Fig. 2 Cloud picture of mesoscopic normal stress and strain

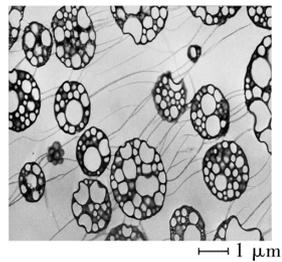


图 3 增韧 HIPS 的银纹微观图

Fig. 3 Microcosmic silver marks of the toughened HIPS

限元模型引发银纹相比,细胞粒子周围存在多条剪切带,且银纹的生长与有限元模型基本类似。

### 2.1.3 总体性能

研制的抗静电、抗冲击、环保阻燃复合聚苯乙烯材料,缺口冲击强度达到  $36 \text{ kJ/m}^2$ ,阻燃级别达到 FV-0 级,通过 1 500 h 老化试验,综合性能达到了国际先进水平。研制的抗静电、抗冲击、抗老化、环保阻燃复合聚丙烯材料,缺口冲击强度达到  $43 \text{ kJ/m}^2$ ,阻燃级别达到 FV-0 级,通过 2 000 h 老化试验,综合性能达到了国际先进水平。

### 2.1.4 应用情况

多功能高分子复合材料已在多种武器型号的包装箱中得到应用,如深水炸弹引信包装箱、弹药包装箱、多用途攻坚弹包装箱、各类防静电周转箱、集装箱等,满足了系统对高力学性能、高阻燃级别、低表面电

阻率的技术需求,并提高了弹药装备的安全性和可靠性,具有广阔的军事应用前景,同时有利于节省原料成本及环境保护,具有潜在的社会效益。

## 2.2 压电阻尼缓冲包装材料

### 2.2.1 压电阻尼原理<sup>[6-7]</sup>

压电-导电效应阻尼机理是指当材料受到振动时,压电粒子两极间产生电荷,电荷流过导电粒子,将电能转换成热能而散发出去,发挥减振作用。压电阻尼材料的压电-导电能量转换机制在很大程度上依赖于复合材料的导电性能。如果材料内部电阻太大,相当于断路,电阻太小,相当于短路,产生的电能未消失,电能又会转变成振动能,继续振动;若材料内部电阻适当,将会使产生的电能转换成热能而消耗,使振动衰减加快。若材料内部电阻为  $R$ ,介电材料的电容量为  $C$ ,衰减振动频率为  $\omega$ ,则阻抗的匹配条件为:

$$R = \frac{1}{\omega C}$$

此时能量衰减最快。导电填料在达到某个临界填充量时,高分子复合材料的导电率会有近 10 次方的增大。因此,由聚合物、压电材料和导电材料组成的复合材料的导电率在临界填充量的附近,只少许改变填充量,就会得到非常大的导电率变化。

### 2.2.2 总体性能与应用

实验采用环氧树脂/弹性体互穿网络为基体,以压电陶瓷、导电相为功能相,制备压电阻尼复合材料,突破了压电与导电复合体系在临界填充量匹配设计、结构阻尼和功能阻尼组合应用的技术难点。材料在 0~100 °C 温域内具有较高的损耗因子,其中 0 °C 附近的损耗因子峰值为 1.28。材料以涂料、结构材料形式应用,受环境、振动频率限制小,耐高温,易于成形,适于大量生产,可用于各类武器系统的减震缓冲材料。

## 2.3 防电磁多功能复合膜内包装材料

### 2.3.1 方案设计与实现

防电磁多功能复合膜以柔性聚乙烯材料为基体,通过添加经表面修饰的导电、导磁填料后共混制备可屏蔽低频电磁波薄膜;采用吹膜机等技术工艺在低频电磁屏蔽薄膜上附阻燃薄膜与铝膜,实现软包装材料的低、高频的电磁波屏蔽及阻燃等性能。

### 2.3.2 主要机理研究<sup>[8]</sup>

根据 Schelkunoff 传输线模型,抗电磁辐射薄膜可近似为平板模型,其电磁屏蔽机理分析见图 4。

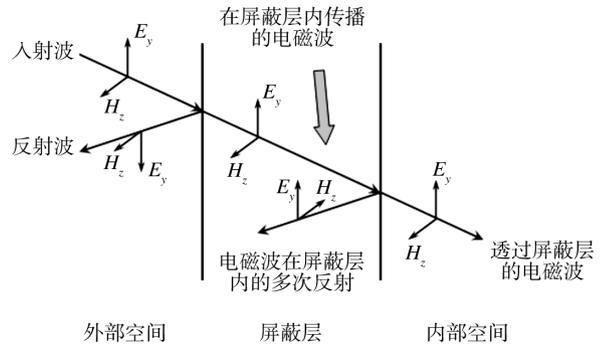


图 4 电磁波在屏蔽膜中的传播模型

Fig. 4 Model of Electromagnetic wave propagation in shielding film

电磁波通过屏蔽膜时产生 3 种损耗:吸收损耗  $SE_A$ 、反射损耗  $SE_R$  和内部多次反射损耗  $SE_B$ :

$$SE = SE_A + SE_R + SE_B$$

对于平板材料 Schelkunoff 公式如下:

$$SE_A = 20 \lg |e^{-\gamma L}| \approx 8.686 L \gamma$$

$$SE_R = 20 \lg |p|^{-1} = 20 \lg \left| \frac{(1+K)^2}{4K} \right|$$

$$SE_B = 20 \lg |1 - qe^{-2\gamma L}| \approx 10 \lg [1 + 10^{-0.2A} - 2 \times 10^{-0.1A} \cos(0.23A)]$$

式中:  $SE$  表示屏蔽效能;  $L$  表示材料厚度;  $K =$

$\frac{Z_1}{Z_2}$ ,  $Z_i(\omega) = \frac{j\omega\mu_i}{\gamma_i(\omega)}$  ( $i=1,2$ ,  $Z_1$  和  $Z_2$  为空气和屏蔽材料的波阻抗,  $Z_1 = 377\Omega$ ); 传输常数  $\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{\omega\mu(j\sigma - \omega\epsilon)}$ , 其中  $\alpha$  和  $\beta$  称作衰减系数和相位系数;  $\omega$  为角频率;  $\sigma$ ,  $\epsilon$  和  $\mu$  分别为材料的电导率、介电常数和磁导率。提高  $SE_R$  需要具备高导电和导磁性,提高  $SE_A$  需要具备高导磁性。

### 2.3.3 总体性能与应用

运用上述理论,提出“细观网络导电、微观局部导磁”的低频电磁波屏蔽膜设计新思想,采用微米导电纤维实现细观网络导电,采用纳米导磁体实现微观局部导磁,可实现高效屏蔽低频电磁波。试验以得到的低频屏蔽效能薄膜为基制备真空复合镀铝膜与阻燃膜,成功实现了防电磁、阻燃等功能。屏蔽效能可在 30~900 MHz 内大于 67.9 dB;在 900 MHz~1.5 GHz 内大于 90.1 dB(部分频点超过 100 dB);表面电阻率小于  $10^{10} \Omega$ ;水蒸汽渗透率小于  $0.31 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ ;阻燃级别 HV-1 级。薄膜软包装主要用于各种弹药、

(下转第 59 页)

化军事行动对装备防护包装的要求,能够广泛应用于箱式后勤装备的生产制造。目前,滚塑箱体已应用于野炊箱组、野战医疗箱组、淋浴箱组等箱式后勤装备的研制。随着箱式后勤装备统型的进一步实施,除部分箱式装备因特殊需求须采用金属箱体外,预计滚塑箱体的比例将占到 80% 以上。统型后的箱式后勤装备在外观和结构上将更加统一、整齐、美观。另外,旋转模塑技术不仅能够用于箱式后勤装备,而且对其它箱式装备及武器、弹药等的防护包装也提供了较好的参考。

#### 参考文献:

- [1] 李冬. 现代包装材料与技术应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 2008.
- [2] CRAWFORD R J. A New Era for Rotational Moulding [J]. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 1991, 15(2): 71-73.
- [3] 王欣, 魏若奇. 滚塑加工现状与发展趋势[J]. *中国塑料*, 1997, 11(4): 17-25.
- [4] 王剑, 刘春阳, 黄玉强. 交联聚乙烯滚塑技术[J]. *中国塑料*, 2000, 14(1): 52-55.
- [5] 邱桂学, 姜爱民, 许淑贞, 等. 用于大型滚塑成型的 LL-DPE/HDPE 共混料[J]. *青岛化工学院学报*, 1996, 17(1): 51-55.
- [6] 藏群传, 靳凤林, 高岩, 等. 聚乙烯滚塑专用料的研制[J]. *中国塑料*, 1999, 13(12): 16-20.
- [7] 田丰, 成国祥, 刘圣军, 等. 旋转模塑防水包装箱专用树脂的研究及应用[J]. *中国塑料*, 2004, 18(11): 67-70.
- [8] 刘圣军, 田丰, 杨荆泉, 等. 共混改性聚乙烯滚塑专用树脂的研制[J]. *塑料*, 2002, 31(6): 22-24.
- [9] 王政, 杨荆泉, 陈世谦. 塑料旋转模塑制造技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [10] 陈枫. 聚乙烯滚塑专用料的现状及发展[J]. *现代塑料加工应用*, 2009, 21(1): 60-63.
- [11] 蔡红, 张恒, 陈东明, 等. 复合材料的旋转模塑成型研究[J]. *材料导报*, 2005, 19(11): 231-233.
- [12] 孔繁兴, 王爱阳. 滚塑成型技术及发展趋势[J]. *塑料科技*, 2005(2): 57-59.
- [13] 宋本超, 张军, 张恒, 等. 旋转模塑模具的研究进展[J]. *塑料科技*, 2006, 34(6): 76-79.

(上接第 48 页)

引信、火工品及军民用精密电子产品等的内包装与武器装备的野外封装及防护, 在高温潮湿等地区可大幅提高武器装备的贮存期。

### 3 结论

针对各种弹药、引信、火工品、军用精密电子产品等军品对多功能包装的要求, 对军品包装高分子材料的设计原理与性能进行了探讨, 制备了多种形式的军品包装材料, 可以有效地解决各种军品包装在储存运输过程中受到的电磁波、累积静电、冲击、振动等引起的问题。试验制备的多种形式的军品包装材料在电磁性能试验、阻燃性能试验、温度试验和多种力学性能试验中, 总体性能达到了先进水平, 各项技术指标满足了多功能复合军品包装材料在复杂环境下的使用要求。形成了一套完整的武器装备电磁屏蔽内、外层和缓冲减震防护系统, 可在武器装备的电磁防护包装系统中推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 韩景平, 王渝珠. 防电磁包装材料[J]. *中国包装*, 1994(4): 58-59.
- [2] 蔡建, 陈一农. 塑料在兵器包装上的应用[J]. *包装工程*, 2003, 24(5): 95-97.
- [3] 孙明亮, 雷坤. 炮弹塑料包装应用探讨[J]. *包装工程*, 2003, 24(6): 107-109.
- [4] 王会云, 欧忠文. 军用包装概述[J]. *包装工程*, 1998, 19(5): 30-33.
- [5] ANTHONY Bedford. 材料力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [6] CHANDRA R, SINGH S P, GUPTA K. Damping Studies in Fiberreinforced Composites - a Review[J]. *Composite Structures*, 1999(46): 41-51.
- [7] FINEGAN I C, GIBSON R F. Recent Research on Enhancement of Damping in Polymer Composites[J]. *Composite Structures*, 1999(44): 89-98.
- [8] 刘顺华, 刘军民, 董星龙. 电磁波屏蔽及吸波材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.