

文章编号: 1003-1480 (2003) 03-0023-04

# 钝化黑索今薄膜及其感度的研究

王晓丽, 焦清介, 李国新, 卢斌

(北京理工大学爆炸与安全国家重点实验室, 北京, 100081)

**摘要:** 炸药黑索今和钝感剂硬脂酸按一系列比例, 用 PVD 技术研制成钝化黑索今炸药薄膜。通过试验和理论分析对钝化黑索今薄膜的结构做了研究, 同时还研究了钝化黑索今薄膜的撞击感和摩擦感度, 得出了钝化黑索今薄膜的结构状况、撞击感和摩擦感度结果, 找出了钝感剂硬脂酸的最佳添加量。

**关键词:** 钝化; 包覆; 感度; 薄膜; 黑索今

**中图分类号:** TQ564.2

**文献标识码:** A

## Study on Desensitizing RDX Film and Its Sensitivity

WANG Xiao-li, JIAO Qing-jie, LI Guo-xin, LU Bin

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

**Abstract:** Desensitized RDX explosive film has been developed by PVD technology from explosive RDX and desensitized composition stearic acid at certain proportion. Structure, impact sensitivity and friction sensitivity of desensitized RDX film have been investigated by experiment and theoretical analysis. Film structure, impact sensitivity and friction sensitivity results have been obtained. Optimum adding amount of desensitizing composition stearic acid has been found.

**Key words:** Desensitizing; Coating; Sensitivity; Film; RDX

PVD 技术是指在真空条件下, 通过物理过程, 将材料气化成原子、分子或使其电离成离子, 并通过气相过程, 在材料或工件表面上沉积的方法<sup>[1]</sup>。PVD 技术在炸药方面的运用, 为炸药的研制和发展开辟了一条新的道路。钝化黑索今炸药薄膜是用 PVD 技术在一定工艺条件下研制的钝化混合炸药薄膜, 它是由黑索今和钝感剂硬脂酸组成的。其感度可根据不同的起爆冲击量, 表示为热感度、机械感度、冲击波感度等<sup>[2]</sup>。在此只研究

钝化黑索今薄膜机械感度中的撞击感和摩擦感度。钝化黑索今薄膜的感度除与炸药本身性能及钝感剂的钝化效果有关外, 主要还与在一定工艺条件下形成薄膜的情况有关。

本文根据试验研究钝化黑索今薄膜及其感度, 分析薄膜结构对其撞击感和摩擦感度的影响; 运用感度数据的通用分析软件 NORM, 对获得的感度数据进行处理, 并对所得的结果及影响因素进行分析。

收稿日期: 2002-04-01

作者简介: 王晓丽 (1966-), 女, 在读博士研究生, 研究方向为军事化学与烟火技术。

# 1 试验

## 1.1 试验条件和方法的设计

分别把质量分数为 3%、5%、7%、9% 和 11% 的硬脂酸与黑索今混合均匀，采用 PVD 技术在一定工艺条件下，用 DM-300B 型镀膜机研制成 5 种不同比例的钝化黑索今炸药薄膜。所得薄膜用北京理化分析测试中心的日本产 H-700 型透射电子显微镜进行分析。

按照国家军用标准 GJB772A-97《炸药试验方法》<sup>[3]</sup>和 GJB/Z337A-94《感度试验数理统计方法》<sup>[4]</sup>进行撞击感度和摩擦感度试验。用落锤仪进行撞击感度试验，所用落锤质量为  $(5.000 \pm 0.005)$  kg、药量为  $(50 \pm 1)$  mg。用升降法，对落锤降落高度的对数值进行升降试验，测定特性落高对应的对数值；用摩擦感度仪进行摩擦感度试验，调节表压为  $(3.92 \pm 0.07)$  MPa，取药量为  $(20 \pm 1)$  mg，按照步进法，对摆角等试探数进行试验。在撞击感度和摩擦感度试验中，若有爆炸声、发光、冒烟、试样变色、与试样接触的滑柱面（或击柱面）有烧蚀痕迹、有试样分解爆炸产物的气味等现象之一的，均判为爆炸。

## 1.2 试验结果

### 1.2.1 薄膜形成结果

钝化黑索今薄膜是被气化的具有一定速度和能量的硬脂酸分子、黑索今分子，通过运动到达基片表面后凝聚而形成的。用 PVD 技术在一定条件下分别研制了 5 种硬脂酸与黑索今的混合物，把硬脂酸质量分数为 7% 和 9% 的薄膜通过透射电子显微镜分析，结果如图 1 中的 (a)、(b) 所示。

### 1.2.2 薄膜感度试验结果

NORM 程序是可用于感度数据的通用分析程序，它是根据求解似然函数的最大似然估计的数值算法编制的<sup>[5]</sup>。用 NORM 程序对撞击感度和摩擦感度的试验数据进行处理，处理结果如表 1 所示。

表 1 感度试验结果

硬脂酸的质量分数 / %	3	5	7	9	11
撞击感度的 Mean	1.37	1.40	1.51	1.53	1.54
摩擦感度的 Mean/°	28.5	29.5	36.5	47.0	48.0

注：Mean 表示 50% 不发生爆炸的平均值。

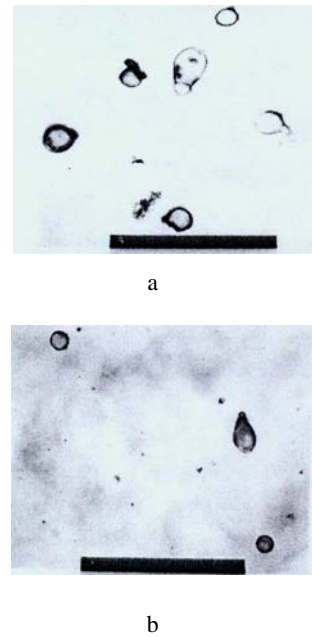


图 1 钝化黑索今薄膜的透射电子显微镜分析图像

把表 1 中 Mean 的对数值转换成落锤下降的高度 Mean (cm)，钝化黑索今薄膜的撞击感度与添加硬脂酸量的关系用曲线表示，如图 2 所示。

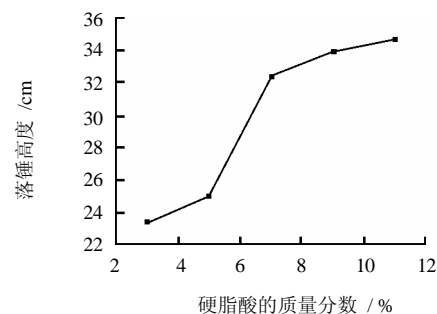


图 2 撞击感度 Mean 与硬脂酸质量分数的关系

把表 1 中 Mean (°) 下落角度与硬脂酸质量分数之间的关系用曲线表示，如图 3 所示。

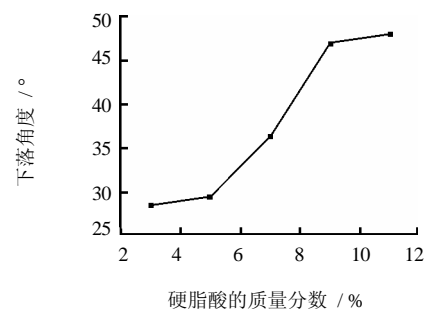


图 3 摩擦感度 Mean 与硬脂酸质量分数的关系

## 2 试验结果分析

### 2.1 形成薄膜结果分析

图1是钝化黑索今薄膜放大2万倍的透射电镜图像,从图1中可以看出,钝化黑索今薄膜的微观结构是:形成薄膜的晶粒呈椭圆形,一种物质包覆在另一种物质的外表面。这种薄膜结构与薄膜的形成类型有着密切的联系,并直接影响着薄膜的感度。

薄膜形成的类型有3种<sup>[6]</sup>:(1)岛状生长模式:这一生长模式的特点是,被沉积物质的原子或分子更倾向于自己相互键合起来;(2)层状生长模式:这一模式的特点是,被沉积物质的原子或分子更倾向于与其它物质的原子或分子键合;(3)中间生长模式:这一模式的特点是,在最开始一两个原子层厚度的层状生长之后,生长模式转化为岛状模式。

吸附在基片表面上的仍具有平行于基片表面动能的黑索今分子,由于数目比较多且黑索今分子之间的作用能比较大,按模式(1)——岛状生长模式成核,所以黑索今分子在基片上首先形成细小的、而且是可以移动的集团,在表面容易被捕获的地方形成核,这个核与不断吸附的分子及邻近的核合并长大;对于硬脂酸,由于硬脂酸和黑索今分子的作用能大于硬脂酸分子之间及硬脂酸与基片之间的作用能,所以按模式(2)——层状生长模式成核,在黑索今分子集团的表面生长。

### 2.2 薄膜结构对感度的影响

图1中的(a)、(b)两图,钝感剂硬脂酸的质量分数分别为7%和9%。从图1中可以看出,形成颗粒大小较一致,(a)图中硬脂酸的包覆效果不如(b)图均匀,(b)图中硬脂酸包覆层厚且较均匀。

钝感剂在钝化黑索今薄膜中的作用<sup>[9]</sup>:(1)吸热和隔热作用:钝感剂包覆在炸药品粒表面,降低了热点的形成概率和传播概率,从而降低了炸药的机械感度。(2)缓冲与润滑作用:当包覆钝感剂的炸药受到机械作用时,这些物质很容易填充在炸药品粒之间,降低了炸药品粒之间的直接接触,起到填充和润滑的作用;降低了炸药品粒间的摩擦及应力集中现象,从而降低了热点产生的概率。因此,炸药在机械作用下的爆炸概率与钝感剂的质量分

数及钝感剂对炸药的包覆情况有着很大的关系。

要注意的是钝感剂质量分数应适当。钝感剂量太小,对炸药的包覆层太薄或包覆不全,不但吸收的热量少,而且易使热点持续时间大于热点传播通过钝感剂层的导热时间,易导致炸药的自加速反应,钝感效果不好。若钝感剂量太大,虽然钝感效果好,但在降低炸药机械感度的同时,也大大降低了炸药的能量。所以在满足安全使用要求的同时,钝感剂的质量分数应尽量少,但只有炸药品粒表面包覆有效钝感层厚度时,才能有效地降低炸药的机械感度。

### 2.3 撞击感度试验结果分析

一定量的炸药放在专用撞击装置内,受到模拟的机械撞击,观察其是否爆炸,可用不同的表示方法相对比较炸药的撞击感度。撞击感度的表示方法有:爆炸百分数法;上下限法;50%落高法(特性落高法);最小落高法;撞击能法<sup>[7]</sup>。在此,用50%落高法即特性落高法来表示试样的撞击感度。

从表1可以看出,撞击感度随着硬脂酸质量分数的依次增加,50%不发生爆炸的平均值依次升高,说明钝化黑索今薄膜的撞击感度随着钝感剂质量分数的增多而降低,当硬脂酸的质量分数达到7%时,钝化黑索今薄膜的感度有了显著的降低。进一步增加硬脂酸的质量分数,发现薄膜的感度降低得较缓慢。在图2中更容易看出,硬脂酸质量分数从5%增到7%,薄膜的撞击感度降低的程度较大,从7%到9%薄膜的撞击感度降低得较少,从9%到11%,薄膜的撞击感度降低幅度趋于平缓。硬脂酸添加量的增加导致撞击感度降低的程度可用撞击能量的变化来表示。落锤落下时传给炸药的撞击能量可用式(1)表示<sup>[7]</sup>:

$$E = m(H_{50} - H_0) \quad (1)$$

式中: $E$ ——撞击能量, kg·cm;

$m$ ——重锤质量, kg;

$H_{50}$ ——50%不爆炸落高, cm;

$H_0$ ——落锤反跳高度, cm。

### 2.4 摩擦感度试验结果分析

摩擦感度的表示方法可用爆炸百分数法、感度曲线法、摩擦功法等<sup>[7]</sup>。在此,用50%不发生爆炸的落高法来表示试样的摩擦感度。

从表1可以看出,摩擦感度随着硬脂酸质量分数的依次增加,50%不发生爆炸的总体平均值依次

增加。当硬脂酸的质量分数在 5%~9% 时, 钝化黑索今薄膜的摩擦感度降低的程度较大, 硬脂酸质量分数在 9%~11% 时, 其降低程度较小, 这可通过摩擦功来比较。50% 不发生爆炸时的摩擦功可用 (2) 式表示<sup>[8]</sup>:

$$W_{\mu} = \frac{PL(\cos \beta - \cos \alpha)}{200} \quad (2)$$

式中:  $W_{\mu}$ ——摩擦功, kg·cm;

$P$ ——摆锤和摆臂重, 2.7kg;

$L$ ——摆锤转动中心至重心的距离, 60cm;

$\beta$ ——摆锤打击击杆后的回摆角, °;

$\alpha$ ——摆锤的脱出角, °。

根据试验条件可由 (2) 式计算 50% 不发生爆炸时的摩擦功。

### 3 结论

(1) PVD 技术是研制炸药的一种新型技术, 用 PVD 技术能够制得性能稳定的钝化黑索今炸药薄膜。

(2) 通过透射电子显微镜分析得出了钝化黑索今炸药薄膜的结构, 钝感剂能够均匀地包覆在炸药晶粒的表面, 从而起到有效的钝化作用。

(3) 通过试验发现, 薄膜中钝感剂硬脂酸的质量分数和对炸药黑索今的包覆情况都影响着钝

化黑索今薄膜的感度。分析一定条件下的试验结果, 认为蒸镀前混入的硬脂酸质量分数为 9%, 能使钝化黑索今薄膜的撞击感度和摩擦感度显著降低。

### 参考文献:

- [1] 李学丹, 万英超, 姜祥祺, 杜元成. 真空科学与技术 [M]. 湘江大学出版社, 1994.
- [2] U. S. Army test and evaluation command test operations procedure [R]. AD-A268954, 1993.
- [3] GJB772A-97. 炸药试验方法 [S]. 中华人民共和国国家军用标准, 1997.
- [4] GJB/Z337A-94. 感度试验用数理统计方法 [S]. 中华人民共和国国家军用标准, 1994.
- [5] 严楠. 感度试验设计方法的若干研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 1996.
- [6] Kazuo Nakajima. Thickness-composition diagrams of Stranski-Krastanov mode in the GaPSb/GaP and InGaAs/GaAs systems [J]. Journal of Crystal Growth, 1999, 203:376~386.
- [7] 蔡瑞娇. 火工品设计原理 [M]. 北京理工大学出版社, 1999.
- [8] 郑孟菊. 炸药性能测试 [M]. 北京工业学院六系, 1982.
- [9] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂. 军用混合炸药 [M]. 兵器工业出版社, 1995.

### 机构介绍

## Orica 爆破器材公司简介

网址: <http://www.orica.com>

Orica 爆破器材公司是澳大利亚国营化学公司, 拥有 9000 多名职员, 跨越多达 35 个国家。年税收达 40 亿澳元。

Orica 采矿公司是世界上工业炸药和爆破系统供货商的先驱, 目前在世界范围内设有办事处的国家和地区有: 美国、澳大利亚、拉丁美洲和欧洲, 同时也在继续扩大其新的市场, 正在建立业务关系的国家包括: 委内瑞拉、哈萨克、卡基斯坦 (Kyrgystan)、印度和中国。

Orica 的业务范围可分 4 个主要方面: 采矿业、化学工业、消耗产品和农用化学品。其业务范围还涉及到与塑料业的合资。

Orica 20 世纪自 70 年代就开始研制电子爆破系统, 与德国的 Dynamit Nobel 合作研制了 ikon 系列硬件。该硬件中加入的称之为 SHOPLUS-i 的软件程序是一种先进的爆破设计软件, 这种软硬件结合使用的爆破系统大大提高了爆炸性能和爆破效果。Orica 生产的爆炸起爆系统包括: 微型芯片雷管、雷管、导爆索和传爆管, 主要用于采矿和采矿爆破中。

—— 徐菴报道