

## 【制造技术】

高聚物黏结粉末分步压装成型件性能研究<sup>\*</sup>

梁华琼, 韩超, 雍炼, 冯立羊, 杨永林

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:**为获得高聚物黏结粉末分步压装成型技术条件,主要研究了工艺条件对分步压装成型件性能的影响,探索了分步压装成型技术特点。结果说明,分步压装成型界面清晰,无裂纹等质量缺陷,界面结合紧密;而采用一次成型的成型件成型界面比较弯曲、不规则;分步压装可以有效改善模压法一次成型的装药质量,解决模压法成型件的轴向密度均匀性问题,有效提高装药质量;分步压装的预成型压力值对成型件界面的影响非常重要,预成型压力值应为成型压力的45%~60%。

**关键词:**高聚物黏结粉末;分步压装;一次成型;装药质量;成型界面

**中图分类号:**TJ410.5+2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2010)07-0060-03

武器弹药的发展有其自身的代谢规律,它总是沿着不断提高威力和使用更加安全的方向发展,而装药能量的提高与安全性之间的矛盾支配着整个发展进程<sup>[1-6]</sup>。自二次大战以来的几十年间,各国军事装备、工事防护能力不断加强,促使高能炸药在常规弹药中得到普遍应用,对弹药的炸药装备提出了更为苛刻的要求,提高能量的要求与安全性要求之间的矛盾更为突出。我国几十年来一直沿用几种传统的装药工艺方式—压装法、注装法和螺旋装药,但这几种装药方式都存在不同程度的局限性和缺点,弹药的威力相对也比较低,而中大口径榴弹只采用装药密度较低的螺旋装药法装填威力较低的TNT炸药,不能完全适应现代战场的需要<sup>[7-8]</sup>。21世纪初,我国从乌克兰引进了先进的分步压装药机,可将高能含铝混合炸药装填到中大口径炮弹中,对提高弹药的威力和毁伤效能具有十分重要的意义<sup>[7-8]</sup>。这种分布压装机主要是由冲杆在一定转速旋转下,将炸药逐份送入炮弹内腔进行捣压的过程,这种装药技术集中了普通压装和螺旋压装的优点,缺点是成型密度较低,轴向密度较高而周边较低。近几年,国内基于分步压装工艺技术的新型装药设备不断被开发出来<sup>[9-10]</sup>。

为了使分布压装技术可以在战斗部装药中得以推广和应用,对分步压装成型技术的特点及成型件性能认识充分,本文中主要研究了工艺条件对分步压装成型件性能的影响。

## 1 装药特点比较

### 1.1 模压法一次装药特点

模压装药技术主要采用定压压制,即:把颗粒状的松

散炸药直接装于精密模具中,然后通过油压机施加一定的压力,直接压制成一定形状、一定密度和一定强度的药柱,其装药示意图如图1所示。

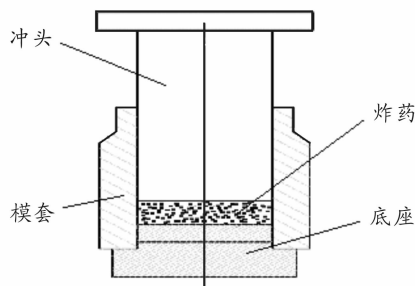


图1 模压法装药装药示意图

模压成型是炸药成型最常用的一种成型方法。由于炸药造型粉与模具间的摩擦力、成型部件的复杂性,导致该工艺即使运用了复杂的模具设计也无法获得密度均匀的成型件。

### 1.2 分步压装特点

分步压装成型技术是在模压成型的基础上,将炸药件分多次装药,多次压制成型。本文中的分步压装是三次装药三次压制成型,其成型工艺流程如图2所示。由于将炸药件分多次装药,多次压制成型,可以减少炸药压制行程,减少压力在炸药成型时的衰减,有效提高装药沿轴向的密度分布均匀性,并易实现多种弹药的复合装药技术,具备柔性装药生产能力。

\* 收稿日期:2010-04-11

作者简介:梁华琼(1977—),女,硕士,主要从事含能材料精密成型及相关物性研究。

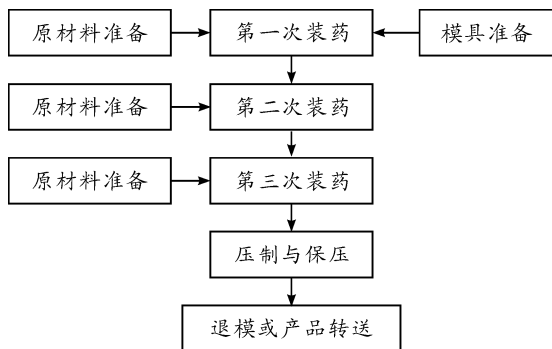


图2 分步压装成型工艺流程

## 2 基本理论

分步压装是在普通模压的基础上建立起来的一种压制方法,其成型原理与模压法相似。是将松散的炸药颗粒压制成具有一定形状和强度的炸药件<sup>[11]</sup>。一般情况下,压力越大,成型件内孔隙率越小,结合力越强。

在压制过程中,随着外部压力作用的增大,颗粒间将发生相对移动,颗粒间的空隙不断减小。完成对模具有限空间的填充之后,颗粒达到了在原始颗粒尺度上的重新排列和密实化。继续加压,通常伴随着原始颗粒的弹性变形和因相对位移而造成的表面破坏;在外部压力进一步增大之后,由应力产生的塑性变形使孔隙率进一步降低,相邻颗粒界面上将产生分子扩散或化学键结合,颗粒间形成牢固的结合,完成压制过程。

在颗粒成型过程中,随着成型压力的增加,空隙减少,炸药件逐渐致密化,其形成机理可作如下简单解释:

1) 分子间的引力作用。从微观分析,在某个阶段分子间的引力随着彼此距离的缩小而增大。晶体的分子引力( $F$ )与分子距离( $d$ )的关系如图3所示。两分子之间的距离很大时,引力极小;随着距离的减小引力逐渐增大,在某一距离处(如 $d_k$ )存在着一个最大引力如( $F_M$ ),当距离进一步减小(小于 $d_k$ 时),引力反而减小,在某一距离处(如 $d_0$ )引力为0,该处是一个相对稳定点。要使处于相对稳定状态的二分子离开,必须有足够的拉力(大于 $F_M$ )。因为处于相对稳定状态的分子数越多,则分子间的作用力就越强,在宏观上呈现的强度就越大。

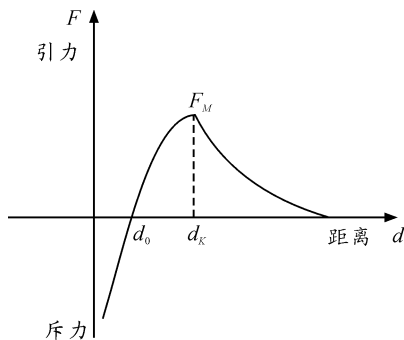


图3 分子引力与距离关系示意图

位移和变形可以楔住和勾连,从而形成颗粒之间的机械啮合。这是使炸药件具有强度的主要原因之一。颗粒形状越复杂,表面越粗糙,则颗粒之间彼此啮合的越紧密,炸药件的强度越高。

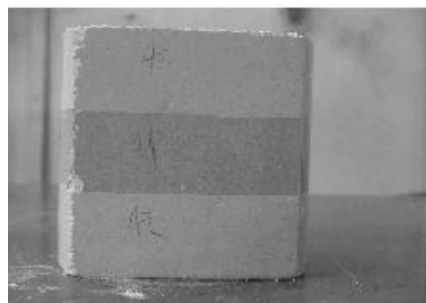
3) 造型粉中的黏结剂,在外力作用下,很容易发生塑性变形和位移,充填颗粒间隙,进一步增加接触面积,引力和粘附力也就增加,因此使药柱具有足够的强度。

分步压装与普通模压的区别是存在界面结合力强弱的问题,如果第一次的压力加载过大,第一次压制的预成型件之间的分子间的引力、颗粒间的机械啮合力及粘附力等都很大,第一次压制的试件具有了足够的强度,则第二次的预成型件与第一次的预成型件界面之间的机械啮合力、粘附力等作用力就会很弱,界面容易分离。

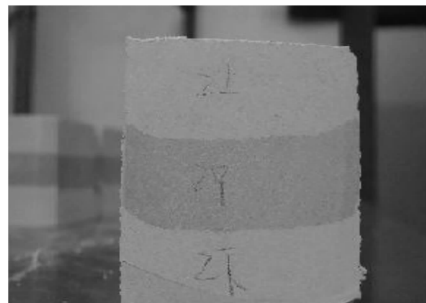
## 3 结果分析

### 3.1 两种不同成型方式成型界面的影响研究

模压法成型 $\Phi 120\text{mm} \times 120\text{mm}$ 产品外观如图4所示,图4(a)为分步压装成型产品图,图4(b)为一次成型产品图。图4(a)可以很明显的看出分步压装成型界面清晰,无裂纹等质量缺陷,界面结合紧密;图4(b)可以看出,采用一次成型压制的模拟炸药件,成型界面比较弯曲、不规则。这主要是由于模压成型时,炸药造型粉与模具间及炸药造型粉之间的存在一定的摩擦力,模压成型的行程越长,即成型件的高径比越大,模压成型过程中,由于摩擦力的影响,压力在造型粉中传递时的衰减量就越大,成型件的密度均匀性就越差,故一般模压成型的炸药件的高径比控制在1以内。分步压装可以将炸药件分多次装药,减小压制行程,减弱压力在造型粉中传递时的衰减量,提高成型件密度均匀性。



(a) 分步压装(压制3次)



(b) 一次成型

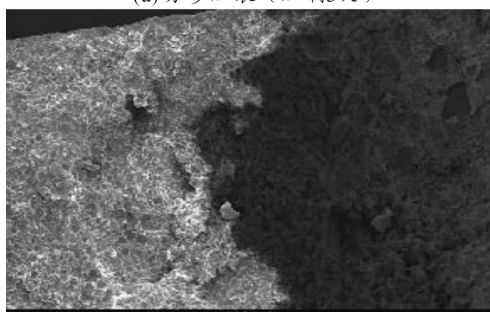
图4 产品外观

2) 颗粒之间的机械啮合力。通过压制,颗粒之间由于

图5为成型界面扫描电镜图,图5也可以看出,分步压装成型界面清晰,而一次成型成型界面模糊,不规则。



(a) 分步压装 (压制3次)



(b) 一次成型

图5 成型界面扫描电镜图

### 3.2 成型压力对成型件的整体密度及成型界面的影响

研究发现,分步压装的成型压力对成型产品界面的影响非常重要。表1为分步压装药柱密度及质量对照表,表1可以看出,第三次成型压力确定后,预成型压力(即前两次成型压力)对成型件的整体密度影响不明显,密度差为0.4%左右,但是,预成型压力对成型界面的影响非常明显,当第三次压力值为200 MPa时,预成型压力值应 $\leq 120$  MPa,预成型的压力值达到160 MPa时,成型界面开始出现分层现象,且成型件加工时界面容易脱离(如图6所示),黏结强度低。从密度均匀性看,预成型压力过低,轴向密

度波动范围较大,预成型压力为60 MPa时,轴向密度波动为1.5%左右。为了使成型界面黏结强度大而轴向密度均匀性好,选择的预成型压力值应在90~120 MPa之间为宜,故预成型压力值应为成型压力的45%~60%。



图6 分步压装成型件加工过程中界面分离

### 3.3 密度均匀性分析

图7为压制压力200 MPa,常温冷压MJ-9014一次成型与分步压装成型件轴向密度分布图,图7可以看出,一次成型的模拟炸药件的轴向密度波动值为2%左右,而采用分步压装成型件的轴向密度波动为0.7%左右。

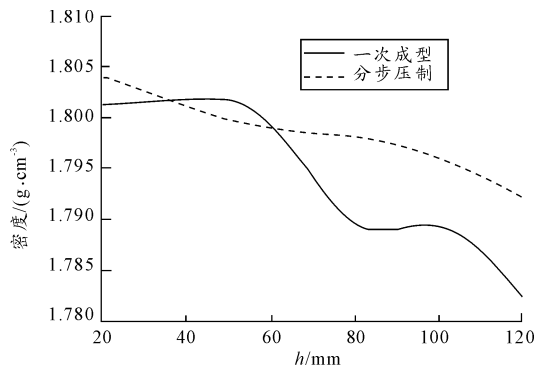


图7 成型件轴向密度分布

表1 分步压装药柱密度及质量对照表

产品规格 (mm)	成型压力/MPa			密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	轴向密度 波动/(%)	质量表述
	1	2	3			
Φ100×120	60	60	200	1.794	1.5	无分层、裂纹等质量缺陷
Φ100×120	90	90	200	1.795	1.0	无分层、裂纹等质量缺陷
Φ100×120	120	120	200	1.797	0.7	无分层、裂纹等质量缺陷
Φ100×120	160	160	200	1.798	0.7	分步压装成型界面开始出现分层现象,加工时界面容易分离(如图6所示)

## 4 结论

- 1) 分步压装成型界面清晰,无裂纹等质量缺陷,界面结合紧密;而用模压法一次成型的界面比较弯曲、不规则。
- 2) 分步压装的预成型压力对成型件界面的影响非常

重要。为了使成型件界面结合紧密、密度均匀性好,预成型压力值应为成型压力的45%~60%。

3) 通过炸药模拟材料压制实验,初步发现分步压装可以有效改善模压法一次成型的装药质量,解决模压法成型件的轴向密度均匀性问题,有效提高装药质量。

(下转第78页)