

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.07.014

## 造型粉流动性能对分步压装工艺的影响

王淑萍, 陈松, 赵省向, 董军, 王彩玲, 韩仲熙  
(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 为研究造型流动性对分步压装工艺适应性及其装药安全性的影响, 测量了不同配方造型粉的流散性和堆积密度, 通过分步压装工艺试验, 研究炸药的流动性对分步压装工艺及其安全性的影响。结果显示, 炸药的流散性在一定范围内才能适合分步压装工艺, 降低炸药的流散性, 可提高局部装药密度, 但增加了径向密度差, 降低了装药过程的安全性。在流散性适宜的条件下, 分步压装装药密度随堆积密度的增加而增加。

**关键词:** 流散性; 堆积密度; 分步压装; 工艺安全性

**中图分类号:** TP273<sup>+</sup>.5 **文献标识码:** A

## Flow of Molding Powder Effect on Step-Press-Loading Charge Techniques

Wang Shuping, Chen Song, Zhao Shengxiang, Dong Jun, Wang Cailing, Han Zhongxi  
(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** In order to research the effect of molding powder flow on technique adaptability and charge safety of step-press-loading, the flow and packing density of different powder have been measured. Through the experiment of step-press-loading charge technique, the results show that the flow of explosive during proper area can adapt to technique of step-press-loading charge techniques. By reducing flow of explosive, explosive loading density can be increased locally, but radial density uniformity and loading safety become worse. Having moderate flow, loading density of step-press-loading charge can enhanced with the increase in packing density of explosive.

**Keywords:** flow; packing density; step-press-loading charge; technique safety

### 0 引言

分步压装工艺是利用分步压装机压药螺杆的旋转及上下往复的运动, 通过拨料器的协调动作将每份炸药输送到弹丸壳体内, 在设定的压力下, 螺杆冲压每一份炸药, 自动完成装药过程。因此, 流入弹体内的炸药量主要是依靠其本身的流散性, 如果流散性太好, 则当冲头抬起时进入超量炸药, 那么每发弹压制的次数将明显减少, 进而影响装药密度甚至“淹没”冲头, 无法继续压制。反之, 如果流散性太差, 则每次进入弹体内药量较少, 增加了压制次数, 延长了压制时间, 压机冲头在较短时间间隔内连续冲击炸药药粉, 较少的药量承受较大的压力载荷, 虽然有可能提高装药密度, 然而导致药柱温度很快升高, 大大增加了工艺过程的危险性。故针对不同配方体系的造型粉测量其流动速度、堆积密度等参数, 进行分步压装工艺试验, 为高能炸药能否适应于分步压装工艺要求提供评判依据。

### 1 炸药造型粉流动性测量

#### 1.1 样品制备

参考 A-IX-II 炸药配方体系, 考虑到炸药能量

输出、机械感度、力学强度及可压性等因素, 在 RDX 的 AL 粉含量不变的前提下, 改变复合粘结剂的配比, 制备了不同配方的样品。首先将 RDX 炸药进行钝感处理后, 与铝粉混合, 之后加入粘结剂混合均匀, 烘干、过筛后制成炸药样品, 共制备 4 种配方的炸药样品和相应的模拟药样品, 见表 1。

#### 1.2 炸药流动性测量方法

利用造型粉流动性测量装置对炸药样品进行流动速度和堆积密度测量, 该装置是模拟分步压装工艺的输料方式, 利用变频使螺杆旋转和往复运动, 在拨料器的协调作用下拨料, 用电子天平对物料进行称量。在药物堆周围空间对称安装 3 个 CCD 摄像机进行图像采集, 然后利用双目立体视觉原理对平面图像进行三维重构, 利用计算机控制软件, 计算出物料的体积, 实现对药物的非接触式测量。该装置可以测量物料流动速度, 显示流动过程并处理试验测试数据, 快速获得关于堆积体的精确的三维描述, 计算物料堆积密度等参数。

### 2 结果与讨论

为保证分步压装工艺试验的安全性, 用

收稿日期: 2010-01-24; 修回日期: 2010-03-16

作者简介: 王淑萍 (1964-), 女, 山西人, 大学本科, 高工, 毕业于国防科技大学, 从事炸药及装药技术研究。

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO 替代 RDX, 制备了相应配方的模拟药, 度和堆积密度测量结果。图 1 和图 2 是不同配方样品流动速度和堆积密度比较。

表 1 不同配方炸药及模拟药流动性测量结果

配方名称	配方组成	进药速度 g/s	堆积密度 g/cm <sup>3</sup>
Z-1	75%RDX,20%片铝,复合粘结剂 0%	33	0.749
Z-2	75%RDX,20%片铝,复合粘结剂 1.4%	28	0.728
Z-3	75%RDX,20%片铝,复合粘结剂 0.9%	31	0.794
Z-4	75%RDX,20%片铝,复合粘结剂 1.8%	36	0.733
M-1	75%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,20%片铝,复合粘结剂 0%	30	0.746
M-2	75%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,20%片铝,复合粘结剂 1.4%	34	0.788
M-3	75%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,20%片铝,复合粘结剂 0.9%	36	0.818
M-4	75%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,20%片铝,复合粘结剂 1.8%	38	0.776

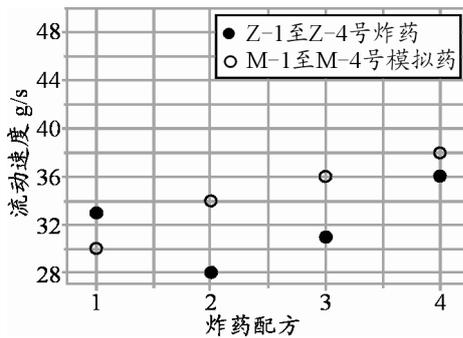


图 1 不同配方炸药流动速度比较

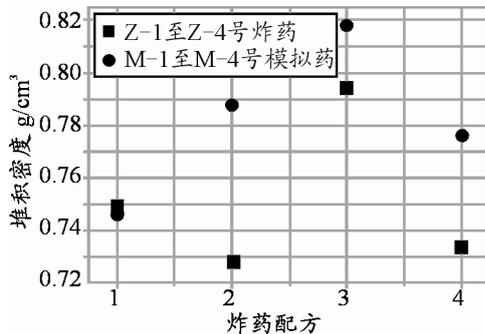


图 2 不同配方炸药堆积密度比较

由表 1 和图 3 可见, 制备的炸药样品外观呈均匀灰色, 颗粒度较小, 造型粉流动速度值在 30~38 g/s 之间, 模拟药的流动速度比相应配方的真药略

高, 但相同配方的变化趋势基本一致, 4 号配方的流动速度较快; 堆积密度波动不大, 3 号配方较高。

表 1 中 2、3、4 号配方为压装塑性粘结炸药, 其中的添加剂对炸药压制的流动性有一定影响, 包覆炸药的高分子材料使炸药具有较好的可塑性和柔软性时, 在压力作用下容易压实。加入粘结剂可提高药柱的力学强度, 也可以起钝感作用, 而加入增塑剂可降低高分子间的引力从而降低其软化点, 增加塑性, 有助于药柱成型和增加药柱密度, 还可降低炸药的机械感度, 提高使用安全性。与此同时, 炸药的流散性和堆积密度也因添加剂的配比变化而发生改变。



图 3 Z-3 号配方炸药堆积形状

### 2.1 造型粉流散性和堆积密度对分步压装工艺的影响

表 2 不同炸药密度分布统计

药柱编号	取样位置						装药压力 MPa
	A	B	C	D	E	F	
M-1-99	1.666	1.619	1.575	1.501	1.497		
M-2-99	1.674	1.657	1.622	1.589		1.483	1.9
M-3-94	1.716	1.672	1.638	1.593			
M-4-90	1.680	1.644	1.609	1.517			
M-4-96	1.717	1.670		1.520			
M-3-91	1.680	1.636	1.613	1.513			2.6
M-1-142	1.620	1.565	1.524	1.486		1.405	
M-2-140	1.630	1.613					
M-3-140	1.658	1.615	1.555	1.531	1.511	1.461	1.9
M-4-117	1.639	1.613	1.596	1.548	1.536	1.452	
M-4-152	1.604	1.573		1.51	1.477	1.423	
M-4-150	1.645	1.621	1.595	1.558	1.524	1.449	2.6

利用分步压装机对 1~4 号(表 1 M-1~M-4 中)样品进行了 2 种压力的装药试验,结果发现,装药时压机运行正常,退模后药柱成型性较好,其中 1 号和 2 号配方冲压次数为 87 次,3 号配方为 91 次,4 号配方为 89 次。表 2 是不同配方炸药的分步压装局部装药密度测量结果,图 4 是药柱局部密度解剖位置示意图。

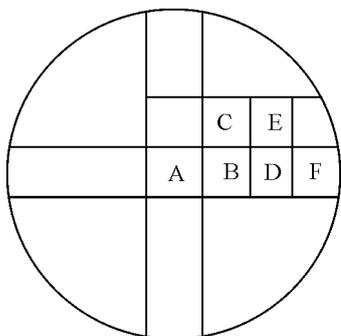


图 4 药柱取样位置示意图

由以上试验结果可以看出,4 种样品均适合于分步压装工艺,由于流动速度和堆积密度的差异,导致装药密度有所不同。同时,装药密度与螺杆的冲压次数直接相关,而螺杆的冲压次数与炸药的流散性有关。就流动速度而言,在一定范围内,若流动速度较小,装药时每次进药量较少,导致冲压次数增多,增加了装药的密实度;反之,流动速度较大时,会减少冲压次数,降低装药密度。同时装药密度还与炸药自身的蠕变、可压性及堆积密度等因素有关。

造型粉压制过程本质就是炸药颗粒在压力作用下互相错动、镶嵌、挤实,使孔隙率减少,最终产生弹塑性变形的过程。由于炸药颗粒表面特性(如颗粒形状、大小、颗粒级配、添加物质自身的物理性质等)及炸药本身物理力学性能的差异(如堆积密度、流散性、理论密度、晶体形状等)导致其可压性有较大差异。药柱的压制密度与堆积密度的关系见下式:

$$\rho = \rho_t + (\rho_0 - \rho_t)e^{\beta p} \quad (1)$$

式中,  $\rho$  为实际密度;  $\rho_t$  为理论密度;  $\rho_0$  为堆积密度;  $\beta$  为可压缩系数;  $p$  为压力。

从式 (1) 可以看出,炸药的堆积密度越高,在同一压力下,所得药柱的实际密度越高,其密度均匀性也越好,所以对于造型粉炸药压制而言,希望堆积密度大些好。从另一方面看,如果前一次压药密度看作是  $\rho_0$ ,则在复压时即使压力相同,也有利

于药柱密度的提高,分步压装装药时炸药颗粒受到螺杆的连续冲压,相当于对临近的炸药进行复压的过程,有利于增加药柱密度。因此,在流动速度接近的条件下,堆积密度较高的炸药,利用分步压装工艺有望在较低的压力下得到较高的装药密度,试验结果也证明了这一点。

总之,造型粉流动速度(或流散性)直接影响分步压装工艺的输药速度,在一定范围内才能适应工艺要求,在流散性适宜的条件下,装药密度随堆积密度的增大而增大。

## 2.2 造型粉流散性对分步压装工艺安全性的影响

为研究造型粉流散性对装药工艺安全性的影响,对 1 号(M-1)配方进行了手动半拨料方式的装药试验,相当于在正常压药条件下流动速度为降为原来的 1/2,装药完成后壳体表面温度明显高于正常装药,说明输药量减少时,较少的药量受到螺杆的连续冲压,炸药受到更大的冲击载荷,增加了炸药颗粒间的热积累,使装药内部及壳体温度升高,降低了工艺过程的安全性。

流散性过小的炸药在装药时,可能粘附冲头,影响装药的安全性。由于流动性差,导致弹体周边的药量减少,从而径向装药密度差增大。

## 3 结论

1) 炸药流散性可通过流动速度来表征,炸药配方体系和制备工艺对其流散性和堆积密度影响较大。

2) 在炸药机械感度较低的前提下,流散性在一定的范围内才能适应于分步压装工艺;降低流散性,可以提高装药密度,但增加了工艺过程的不安全因素,并影响径向密度的均匀性。

3) 当流散性满足分步压装工艺要求时,装药密度随炸药堆积密度的增大而增大。

## 参考文献:

- [1] 胡焕性. 破甲战斗部精密装药基础与实验研究. 火炸药学报, 1999, 22(1): 1-5.
- [2] 肖川, 胡焕性. 弹药分步压装装药技术简介[C]//中国宇航无人飞行器学会战斗部与毁伤效率专业委员会第 7 届学术年会论文集. 2001: 176-178.
- [3] 董军, 等. 粘结剂对铝炸药造型粉流散性和堆积密度的影响[J]. 火炸药学报, 2009, 32(4): 53-59.
- [4] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.