

doi: 10.7690/bgzdh.2013.01.029

压装装药双向压药的模具设计

姜庆禄

(江苏永丰机械有限责任公司, 江苏 淮安 211722)

摘要: 为了解决弹药装药中压装药柱的密度不均匀的问题, 提出一种在单向压机上实现双向压药模具的设计方法。从单向压机压制药柱双向压药模具的总体设计方案、双向压药垫块及模体的设计方法、使用的原材料和热处理要求等出发, 通过分析影响轴向压力降的各种原因, 得到药柱的密度分布, 并找到了取得密度均匀和平均密度大的药柱的方法。结果表明: 该方法能取得密度均匀和平均密度大的药柱, 解决了压装工艺中常见的问题。

关键词: 双向压药垫块; 高度回弹尺寸; 径向回弹尺寸; 配合间隙的确定

中图分类号: TJ410.5 **文献标志码:** A

Two-Dimensional Pressing-Explosive Mould Design of Press Charging

Jiang Qinglu

(Jiangsu Yongfeng Machinery Co., Ltd., Huai'an 211722, China)

Abstract: For solving cartridge varied densities in press charging, put forwards a design method realize two-dimensional pressing-explosive mould in single-dimensional press machine. Based on whole design scheme of single-dimensional press machine pressing cartridge and two-dimensional pressing-explosive mould, design method of two-dimensional pressing-explosive skid and motif, raw material and heat-treatment method, analyze reasons which influencing axial pressure drop, acquire cartridge density distribution, and find out the method to realize cartridge with varied density and high average density. The result shows that the method can acquire cartridge with varied density and high average density, and solve the common problems of press charging.

Key words: two-dimensional pressing-explosive skid; height spring back dimension; radial spring back dimension; ensuring coordination intermittency

0 引言

压装是弹药装药中被广泛采用的装药方法之一, 具有使用的炸药广、生产周期短、爆轰感度大等优点, 而压装模具是压装生产中重要的工艺装备。由于压装药柱的密度是不均匀的, 随着药柱尺寸的增大, 不均匀性更显著, 这对精密装药和爆轰性能要求高的装药来说是必须考虑的问题。笔者通过长期的压装生产实践, 总结了压装模具设计的经验, 提出在单向压机上实现双向压药模具的设计方法以及在压装工艺过程中遇到的问题和解决方法。

1 确定药柱压制的总体方案

对于精密装药来说, 解决合理和稳定的爆轰波形, 是保证产品战术技术指标的可靠保证。为解决压药密度均匀性问题, 首先要确定压药模具的总体方案。若采用双向压机设备, 模具的设计较简单; 而对于单向压机的情况, 应采用双向压药模具, 以保证药柱密度的均匀性。

2 双向压装模具的设计

2.1 双向压药的主要工艺方法

双向压药模具是根据单向压机双向压药的工艺方法确定的。该工艺方法实质是将双向压药改为二次压药的方法。第1次压制先使上冲(或下冲)运动后, 将垫块撤离, 进行第2次压制, 使下冲(或上冲)运动, 最终使下冲、药柱及上冲三者的高度达到定位柱高度^[1]。

2.2 确定上、下冲、模体尺寸

1) 药柱退模后的高度回弹尺寸 Δh 和径向回弹尺寸 ΔD 的确定。

压制过程中, 最高压力的保压阶段后, 由于退模卸载的原因, 药柱会弹性膨胀变形。生产实践证明, 该变形在高度和径向都存在, 即“回弹”。对于不同的炸药和不同的密度, 它们的回弹度是不同的。笔者根据对8701炸药药柱的生产经验得出以下经验数据^[2]:

收稿日期: 2012-06-28; 修回日期: 2012-07-20

作者简介: 姜庆禄(1951—), 男, 山东人, 高工, 从事弹药产品技术、机械产品研究。

① 对于圆柱形药柱，药柱密度为(1.69~1.71) g/cm³，双向压药，高度回弹尺寸如式(1)：

$$\Delta h = 0.0335 \sim 0.0345 \times h \quad (1)$$

径向回弹尺寸如式(2)：

$$\Delta D = 0.002 \sim 0.003 \times D \quad (2)$$

药柱密度为(1.67~1.68) g/cm³时，高度回弹尺寸如式(3)：

$$\Delta h = 0.029 \sim 0.03 \times h \quad (3)$$

径向回弹尺寸如式(4)：

$$\Delta D = 0.002 \sim 0.003 \times D \quad (4)$$

② 对于锥台形(锥度为 14°)药柱，药柱密度为(1.69~1.71) g/cm³，双向压药，高度回弹尺寸如式(5)：

$$\Delta h = \Delta h_1 = 0.0335 \sim 0.0345 \times h \quad (5)$$

径向回弹尺寸如式(6)：

$$\Delta D = 0.003 \sim 0.004 \times D \quad (6)$$

式中： h 为药柱高度尺寸，mm； D 为药柱直径尺寸，mm。

2) 确定上、下冲的高度尺寸和整体结构尺寸。

上冲高度 h_1 尺寸的确定，是在压制过程中，药柱压到位下冲所在的位置上，加上药柱假密度高度的位置开始计算，一段为上冲与模体内孔的配合段 h_{10} ，一段为上冲压药时的运动距离 h_{11} ，此运动距离是药柱假密度高度的位置至药柱高度减去回弹量的位置，此两段之和便为上冲的高度 h_1 尺寸。其表达式如式(7)：

$$h_1 = h_{10} + h_{11} \quad (7)$$

对于单向和双向压药，一般情况上冲的整体结构形状为台阶状，如图 1 所示。对于不同炸药，上冲的高度 h_1 尺寸最终通过工艺试验确定。

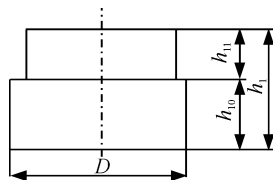


图 1 上冲结构

图 1 中 h_{10} 段为上冲与模体内孔的配合段。其长度尺寸约为：

$$h_{10} = 0.6 \sim 0.7 \times h_1 \quad (8)$$

下冲的形状，一般情况其结构形状为圆柱状，如图 2 所示。

$$h_2 = 0.3 \sim 0.5 \times h \quad (9)$$

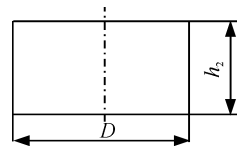


图 2 下冲头结构

3) 模体尺寸的确定。

① 模体(也称模套)的高度尺寸 H ，是由上冲 h_1 、下冲 h_2 之和再加上药柱的高度尺寸 h ，减去药柱退模后的回弹尺寸 Δh 即可。表达式如式(10)：

$$H = (h_1 + h_2) + (h - \Delta h) \quad (10)$$

② 模体的内孔 D_1 尺寸，将药柱 D 尺寸减去径向回弹量 ΔD 即可。其表达式如式(11)：

$$D_1 = D - \Delta D \quad (11)$$

③ 模体外径 D_2 尺寸的确定。

模体外径 D_2 尺寸一般是根据经验进行设计的。原则上只要保证强度和刚度即可^[3]。通常情况单边厚度约为 0.3 倍的药柱直径(最大直径)，取整数。表达式如式(12)：

$$D_2 = 2 \times (0.3 \times D) + D \quad (12)$$

上、下冲和模体组合后如图 3 所示。

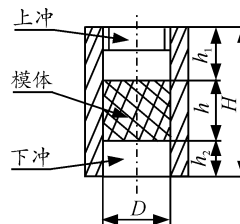


图 3 模具组合

4) 模体与上、下冲配合间隙的确定。

在压药过程中，上、下冲在很高的压力作用下将产生弹性变形。如果其配合间隙选择过小，可能会产生“啃模”现象，造成模具的报废。如果其配合间隙选择过大，压出的药柱可能会产生飞边，无法保证产品的质量；同时，在退模的过程中，也有可能产生爆炸事故。通过大量的生产实践经验，模体与上、下冲的配合间隙一般控制在 0.06~0.08 mm 之间较为合适。

5) 模体型腔的设计。

在设计模体型腔时，一般成型段的高度尺寸为药柱的高度，成型段必须具有 0.5°左右的拔模斜度，型腔内的表面粗糙度一般不低于 Ra0.2。

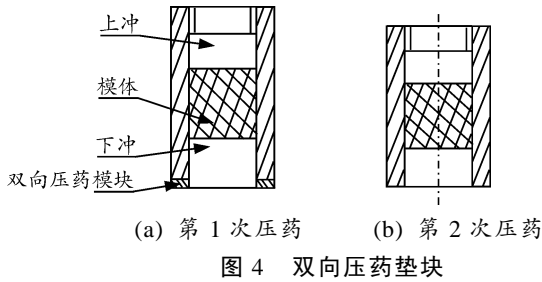
6) 双向压药模具垫块的确定。

双向压药过程示意图如图 4。图 4(a) 为第 1 次压药；图 4(b) 为撤掉双向压药垫块后进行第 2 次压

药。图中双向压药垫块高度尺寸取决于药柱密度分布均匀性的关键零件。不同药柱密度和不同药柱高度，压药垫块高度尺寸是不同的。通过大量试验，得到一个经验公式，即药柱密度在(1.69~1.71) g/cm³ 范围内，其高度尺寸为：

$$n=0.1h \tag{13}$$

n 为压药垫块高度尺寸，mm。



(a) 第 1 次压药 (b) 第 2 次压药
图 4 双向压药垫块

3 压制过程分析

为了进一步了解药柱密度的分布情况，必须对压制过程进行分析。

3.1 药柱轴向密度与径向密度的分布

如果将药柱的高度和直径都加大，药柱的密度沿高度和径向都有明显的分布特点。

一个单向压药时的药柱，其密度沿高度变化的情形如图 5 所示。药柱端与上冲(运动端)间隙为零，另一端面与下冲(不运动)相邻。从图 5 可见，靠近上冲端面处药柱的密度大，远离上冲的另一端面处药柱的密度小。聚能装药药柱沿轴向位置测得的局部密度如图 6 所示。药型罩一端与上冲相邻，靠罩端密度较高，另一端则密度较低。罩喇叭口部位密度也较低是由于该处太窄，炸药颗粒不易流入其中的缘故。

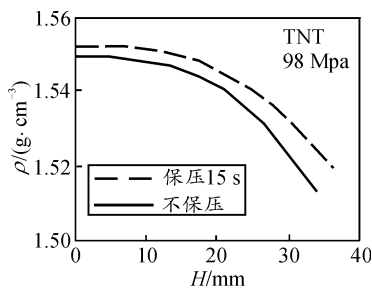


图 5 药柱轴向密度沿高度的变化

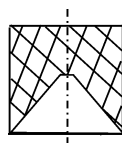


图 6 聚能装药轴向密度沿高度的分布

如果采用双向压药(上下冲都运动)时，靠近冲头两端密度高，中心低。从 85 mm 高射榴弹中的梯恩梯药柱看，其直径为 47 mm，双向压药，密度沿高度分布数据列于表 1^[4]。

表 1 梯恩梯双向压药药柱的密度分布

离上冲距离/mm	0~15	15~30	42~53	65~80	80~95
密度/(g·cm ⁻³)	1.56	1.55	1.53	1.55	1.57

关于密度沿径向的分布情况，单向压制药柱不仅沿加压方向上下密度不均匀，就是在同一横断面上径向密度也不均匀。靠近冲头一端的密度及边缘部分的密度，大于中间部分密度，但径向密度差比轴向密度差小得多。

上述实例证明：压装药柱的密度是不均匀的，随着药柱尺寸的增大，不均匀性更显著，这对精密装药和爆轰性能要求高的装药来说是必须考虑的问题。造成密度分布不均匀的根本原因，是由于散粒体压紧时各局部的压力不相同的原因所致。故认识 and 解决密度分布的问题，主要是分析压药时的压力分布情况。

3.2 压药时压应力沿轴向的分布^[4]

假设：1) 对散粒的松装炸药的压紧和变形运动，可近似的视为连续介质；2) 各向应力(轴向、径向、切向)与径向位置无关，每个横截面上的压力处处相等。由图 7 作近似推演，可得出轴向压应力与某些因素之间的关系。

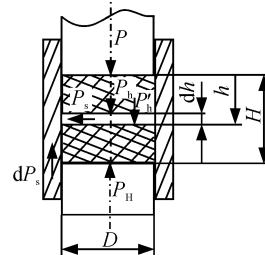


图 7 压药时炸药的受力模型

模具内离冲头端面 h 处的炸药受压时，微元 dh 高度的环形侧面上对模壁的径向压力为

$$dP_x = p_x \pi D dh \tag{14}$$

而
$$p_x = \eta p_h \tag{15}$$

式中 η 为侧压力系数， $\eta = \frac{\mu}{1 - \mu}$ ， μ 为泊松比。

将式 (12) 代入式 (11) 得

$$dP_x = \eta p_h \pi D dh \tag{16}$$

该处炸药与模壁之间的摩擦力 F 为

$$F = fdP_x \quad (17)$$

式中 f 为炸药与模壁的摩擦系数。

摩擦力与模壁平行，方向与轴向压力相反。其大小相当于轴向压力 P_h 经过 dh 一段后的压力降 dP_x ，因此可写为：

$$dp_h = -fdp_x \quad (18)$$

或
$$dP_h = -f\eta p_h \pi D dh \quad (19)$$

又
$$dP_h = \frac{\pi}{4D^2} dp_h \quad (20)$$

将式 (17) 代入式 (16) 整理后得

$$\frac{dp_h}{p_h} = \frac{-4f\eta}{D} dh \quad (21)$$

由冲头端面到 h 处这一段炸药的轴向压力降，用积分表示为

$$\int_p^{p_h} \frac{dp_h}{p} = -\frac{4f\eta}{D} \int_0^h dh$$

得
$$\ln \frac{p_h}{p} = -\frac{4f\eta}{D} (h-0)$$

或
$$p_h = pe^{-\frac{4f\eta h}{D}} \quad (22)$$

式 (19) 表明了压药时轴向压应力沿装药高度的分布规律。该方程基本概括了影响轴向压力降的各种原因。式 (19) 说明了以下几点：1) 靠近上冲处的压药压力最大，离上冲越远压力越小。所以单向压药的药柱，靠近下冲的药柱结构比上冲处的药柱结构疏松；2) 药柱的长径比 h/D 过大，密度不均匀性增加；3) 炸药与模壁的摩擦系数 f 越大，压力分布越大，药柱密度不均匀性亦增大^[5]。

在实际压装生产中，为了得到密度均匀和平均密度大的药柱，通常采取以下措施：1) 采用双向压药工艺(两端冲头同时向中心压药)；2) 采用分段压药，每段药柱的长径比 h/D 不大于 2，然后将各段药柱按照规定的要求进行粘接；3) 提高模体内壁的粗糙精度，压药时注意清洁模具并涂润滑剂；4) 改善散粒体炸药的流散性，炸药颗粒不宜过细；提高炸药的可塑性(从配方中解决)；5) 适当提高压药温度。

3.3 对径向密度的分析

简单地分析径向密度变化的原因，可认为在

压药过程中，同一截面上的炸药颗粒在加压方向上的移动是不一致的。上冲受力向下运动时，横截面上的炸药颗粒随上冲一起向下运动，在中心处颗粒向下运动所受的阻力小，边部的颗粒与模壁发生摩擦向下运动时受的阻力较大，因此药柱靠近上冲附近这一段边部密度大于中心处的密度。但靠近下冲附近一段的情形却相反。这是因为压力在传递过程中，与侧壁摩擦力的消耗。随着距离的增加压力逐渐降低，受到较小压力的作用，所以边部密度小。中心部分炸药颗粒向下运动仅受到下冲的阻碍，与边部相比，炸药承受着较大的压力作用，因而中心处的密度大于边部的密度。

笔者曾用纸将炸药一层一层隔开装入模具中，压成药柱后情形如图 8 所示。

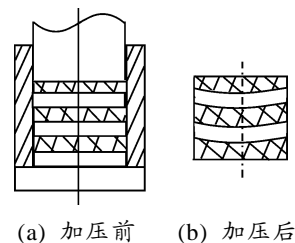


图 8 压件总剖面

从数值上来看，药柱的径向密度差比轴向密度差小得多，影响不大，除了特殊的精密装药要求外，一般情况下可以不考虑。

4 结论

通过分析影响轴向压力降的各种原因，笔者找到了取得密度均匀和平均密度大的药柱的方法，为今后特殊的精密装药研究奠定了基础。

参考文献：

[1] 王颂康, 等. 高新技术弹药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.
 [2] 姜庆禄, 等. 压装装药模具的设计[J]. 兵工自动化, 2009, 28(增刊): 30-32.
 [3] 查宏振, 等. 炮弹与火箭弹工艺学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.
 [4] 陈国光, 等. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学, 2004.
 [5] 甄金朋, 刘天生. 平板装药驱动飞板运动规律分析[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(2): 17.