

doi: 10.7690/bgzdh.2026.05.016

# 一种异形药柱压制的安全性分析

冉 靖, 易茂光, 欧腾达, 蓝益龙, 成 臣  
(重庆红宇精密工业有限责任公司, 重庆 402760)

**摘要:** 为确保异形药柱压制过程的安全性, 设计一种异形药柱压制模具。采用理论及仿真相结合计算模具各零部件的强度。结果表明: 在药柱成型时模具各零部件只发生弹性变形, 未发生塑性变形, 说明模具零部件的强度满足压药的安全性要求, 模具结构设计合理。

**关键词:** 异形药柱; 压制成型; 松装颗粒炸药; 仿真计算; 安全性  
**中图分类号:** TJ510.3+6 **文献标志码:** A

## Safety Analysis of a Shaped Grain Compaction

Ran Jing, Yi Maoguang, Ou Tengda, Lan Yilong, Cheng Chen  
(Chongqing Hongyu Precision Industry Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

**Abstract:** In order to ensure the safety of the pressing process of shaped grain, a pressing die for shaped grain was designed. The strength of each part of the mould is calculated by the combination of theory and simulation. The results show that the parts of the mold only have elastic deformation, not plastic deformation, which indicates that the strength of the parts of the mold meets the safety requirements and the design of the mold structure is reasonable.

**Keywords:** shaped charge; briquetting; loose granular explosive; simulation calculation; safety

## 0 引言

某产品采用药柱装药法进行战斗部装填<sup>[1]</sup>。装填的药柱为外圆带有凹槽的异形药柱, 药柱密度和尺寸要求高。为了获得这样形状的药柱, 设计了对应的异形模具。

相对于传统模具, 异形模具改变了传统模具结构, 以致零部件不是规则的回转体, 导致零部件强度减弱。在药柱压制压力下模具零部件的受力情况更趋复杂, 容易造成在药柱压制过程中模具零部件断裂、损伤, 引起炸药爆炸。采用这种异形模具将松装颗粒炸药压制成高密度成型药柱的加工方法<sup>[2]</sup>, 对压制的安全性存在较大的风险。

为了确保高密度异形药柱压制成型过程的安全性<sup>[3]</sup>, 笔者开展异形药柱压制安全性的研究, 为异形药柱的安全可靠压制提供理论支撑。

## 1 模具结构

如图 1 所示, 模具由上冲头、成型块、内套、压块、下冲头、模衬组成。上冲头、成型块、压块、下冲头、模衬的材料采用合金结构钢, 内套的材料采用超硬铝。

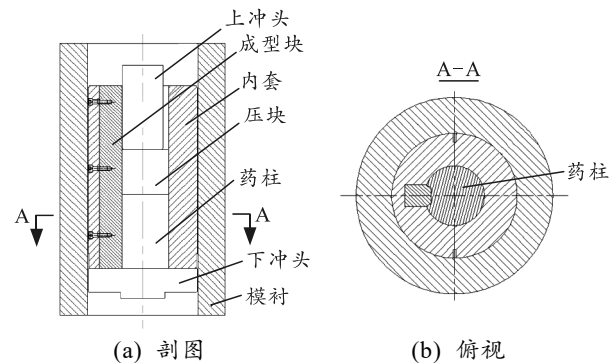


图 1 模具结构

## 2 模具强度计算

### 2.1 上冲头和压块强度计算

上冲头和压块的材料均为合金结构钢, 强度极限<sup>[4]</sup>为:  $\sigma_b=1\ 280\ \text{MPa}$ , 根据作用力与反作用力原理, 如图 2 所示, 作用在药柱、压块和上冲头的力相等。

压力可按计算式(1)、(2)计算:

$$F=f \times S_2 \times g. \quad (1)$$

式中:  $F$  为作用力, N;  $f$  为比压,  $\text{kgf/cm}^2$ ;  $S_2$  为接触面积,  $\text{cm}^2$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m/s}^2$ 。

$$\sigma=F/S_1. \quad (2)$$

式中： $\sigma$ 为压制压力，MPa； $F$ 为作用力，N； $S_1$ 为接触面积， $m^2$ 。

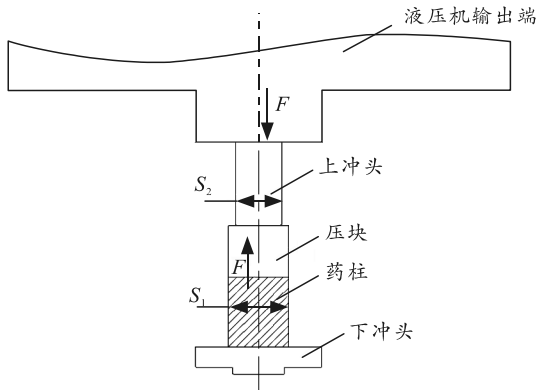


图 2 液压机作用

炸药的比压取值为  $1\ 800\ kgf/cm^2$ ，作用在药柱上的压制压力为  $\sigma_1=180\ MPa$ ，作用在上冲头的压制压力为  $\sigma_2=304.7\ MPa$ ，剩余强度系数  $\eta=\sigma_b/\sigma_2=4.20$ ；压块的压制压力  $\sigma_3=180\ MPa$ ，剩余强度系数  $\eta=\sigma_b/\sigma_3=7.11$ 。当剩余强度系数  $\eta>1$ ，模具零部件强度满足使用要求。根据以上计算，模具的上冲头和压块强度满足压制药柱要求。

### 2.2 内套强度计算

药柱成型时，内套径向压制压力为：

$$p_x = \eta p_h \tag{3}$$

式中： $p_h$ 为加载在药柱上的压制压力； $\eta=\mu/(1-\mu)$ 为侧压力系数； $\mu$ 为炸药的泊松比。

$p_h$ 按最大压制压力  $1\ 800\ kgf/cm^2$ 、 $\mu$ 按最大  $0.3$  计算，则根据式(3)计算得：

$$p_x = \eta p_h = \frac{0.3}{1-0.3} \times 180 = 77.1\ MPa \tag{4}$$

径向应力：

$$\sigma_r = -\frac{b^2/r^2 - 1}{b^2/a^2 - 1} p_x \tag{5}$$

环向应力：

$$\sigma_\theta = \frac{b^2/r^2 + 1}{b^2/a^2 - 1} p_x \tag{6}$$

式中： $b=146.5$  为内套外径； $a=70$  为内套内径。当  $r=a$  时，药柱压药模的径向应力与环向应力最大，即  $\sigma_{r_{max}}=-77.1\ MPa$ ， $\sigma_{\theta_{max}}=122.6\ MPa$  应用第三强度理论，等效应力为：

$$\sigma_{max} = \sigma_{\theta_{max}} - \sigma_{r_{max}} = 199.7\ MPa \tag{7}$$

内套材料为超硬铝，其抗拉强度为  $530\ MPa$ ，剩余强度系数  $\eta=\sigma_b/\sigma_{max}=2.65$ 。

根据以上计算，内套强度满足压制药柱要求。

## 3 模具应力仿真

### 3.1 建模

药柱压药模采用有限元软件 ANSYS 软件进行仿真<sup>[5]</sup>计算，材料参数如表 1 所示。

表 1 材料参数

零部件	材料	密度/( $kg/m^3$ )	弹性模量/GPa	泊松比
上冲头	合金结构钢	7 850	210	0.30
成型块	合金结构钢	7 850	210	0.30
压块	合金结构钢	7 850	210	0.30
内套	超硬铝	2 700	72	0.33

模型如图 3 所示，计算模型：节点数为  $172\ 321$ ；单元数为  $37\ 503$ ；作用在药柱上的载荷按最大压制压力  $1\ 800\ kgf/cm^2$  计算；在上冲头顶面施加压力  $p=304.7\ MPa$ 。

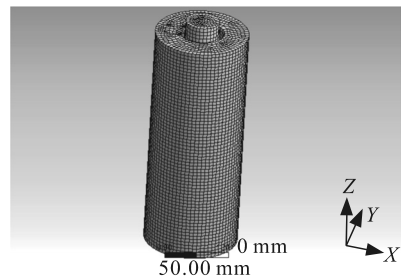


图 3 有限元模型

### 3.2 计算结果

等效应力如图 4—8 所示。

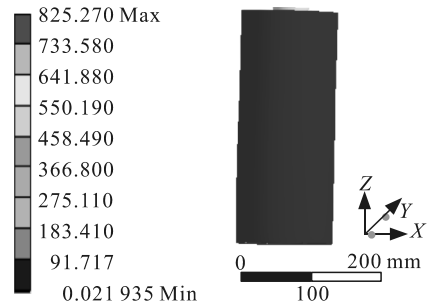


图 4 总体等效应力

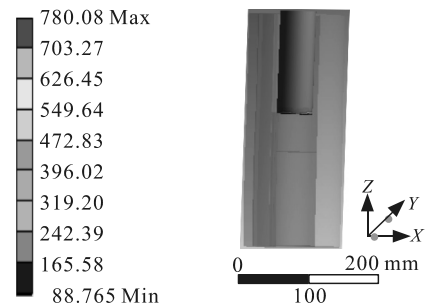


图 5 上冲头等效应力

由图 5 可得，上冲头最大应力  $\sigma_{max}=780.08\ MPa < \sigma_b$ 。剩余强度系数  $\eta=\sigma_b/\sigma_{max}=1.64$ 。