

doi: 10.7690/bgzd.2015.04.026

弹药装药技术的数值研究

马增祥, 卢连军, 张均法, 卓露

(山东特种工业集团有限公司军品研究所, 山东 淄博 255201)

摘要: 为保证弹丸射击安全性, 提高装药质量, 采用 2D 轴对称模型有限元法进行弹体装药的仿真研究。以某产品的战斗部盲口弹体装药为例, 介绍装药力学性能参数, 计算模型及其应力应变和装药数值分析。仿真结果表明: 该方法可根据弹体装药的抗拉极限强度确定优化冲次位置, 了解压装后装药质量, 初步判断缺陷会发生的部位, 为解决装药质量问题提供技术手段。

关键词: 弹体; 装药; 数值研究

中图分类号: TJ410.3⁺4 **文献标志码:** A

Research on Values of Ammunition Charging Technology

Ma Zengxiang, Lu Lianjun, Zhang Junfa, Zhuo Lu

(Institute of Military Products, Shandong Special Industrial Group Co., Ltd., Zibo 255201, China)

Abstract: Aiming at shot shooting guarantee and improve charging quality, research on simulations of ammunition charging via finite element method based on 2D axial symmetry model. Take blind charging of certain type warhead as example, introduce charging mechanical properties parameters, calculate model and its stress-strain, and numerical analysis of charging. Simulation result shows: tearing terminal strength of ammunition charging can help optimization of ascertaining stroke frequency location, therefore can give reference for confirmation of optimal pressing parameter. Meanwhile, numerical value analysis can help detecting pressing quality and estimating defect occurrence primarily, thus provide technical method for solving charging quality problems.

Keywords: projectile body; ammunition charging; numerical value research

0 引言

当今弹药性能优良, 通常要求使用高能炸药装填战斗部, 并且对装药质量要求很高。以某产品的战斗部盲口弹体装药为例, 该装药开口端直径较小, 装药具有明显的口小肚子大, 且装药长径^[1]比较大, 弹底端装药收率较大。因为弹体药室形状复杂, 并非标准的圆柱形药柱, 设计人员首先要解决的问题是装药需压几冲? 每冲压到哪个位置最合理? 以确定每冲的装药量。其次是压装后装药质量如何? 缺陷会发生在哪个部位? 如何解决等一系列问题。

对于装药需压几冲? 可以通过计算复杂装药的当量半径的方法并参照每冲的装药长径比 ≤ 2 的原则, 划分冲次, 本例装药当量直径 $\varphi=79.1$ mm, 当量装药长径比 $\kappa=4.8$, 可以用 3 冲完成装药, 但后续问题, 以往是仅凭设计人员的经验来估计确定, 并通过反复试模, 以寻求最佳压装工艺参数。

为提高装药质量, 笔者针对弹体装药问题, 提出运用弹体装药的仿真分析方法进行研究, 以优化压制方案, 并进行仿真分析。

1 数值分析

1.1 装药力学性能参数

图 1 为某产品的战斗部盲口弹体装药, 材料为炸药, 装药体积为 V , 装药全长为 L , 要求密度均匀, 无裂纹和疏松等装药缺陷, 平均密度不低于 1.89 g/cm^3 。在规定密度以及常温条件下, 抗拉极限强度 $\sigma \geq 2.71$ MPa, 弹性模量为 1.8 GPa, 泊松比为 0.35 。

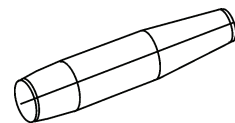


图 1 弹体装药

1.2 计算模型及其应力应变

1.2.1 2D 轴对称模型

因为装药零件几何对称, 为回转体, 压装时, 载荷呈现对称, 属于轴对称问题^[2]故装药可简化为 2D 轴对称模型。

1.2.2 2D 轴对称模型应力应变关系

2D 轴对称模型应力应变关系^[3], 有广义胡克定

收稿日期: 2014-12-09; 修回日期: 2015-02-01

作者简介: 马增祥(1962—), 男, 山东人, 高级工程师, 从事战斗部装药技术研究。

义可以得到，如下式

$$\{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_z \\ \sigma_t \\ \tau_{rz} \end{bmatrix} = \{D\} \begin{bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_t \\ \varepsilon_{rz} \end{bmatrix} = [D][B][\delta]^e = [S][\delta]^e \quad (1)$$

式中： $[D]$ 为弹性矩阵，材料性质有关； $[S]$ 为应力矩阵。

对于轴对称问题， $[D]$ 为

$$[D] = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{bmatrix} 1 & & & & \text{对称} \\ \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & & & \\ \frac{\mu}{1-\mu} & \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} & \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.3 装药数值分析

1.3.1 创建分析曲面

如前所述，根据弹体药室形状以及长径比大小的分析，初步确定该装药可以用三冲完成压制工作，为了避开应力具有突变的位置(即弹底部收敛部分)，第一和第二冲位置都位于弹体药室的圆柱端上，如图 1。笔者以第二冲为例，说明数值分析过程。第二冲装药创建装药曲面，如图 2。

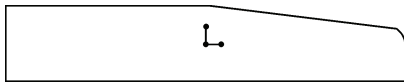


图 2 装药曲面

1.3.2 建立 2D 轴对称模型

确定笛卡尔坐标系，选取装药曲面，建立 2D 轴对称模型。

1.3.3 边界条件确定

1) 约束。

采用惯性释放。

2) 载荷。

将压装时液压机的压力负荷 64 T，施加于模型。

1.3.4 材料分配

分派炸药材料的属性，将前已所述材料的弹性模量和泊松比，至分析模型。

弹丸有限元计算模型，如图 3。

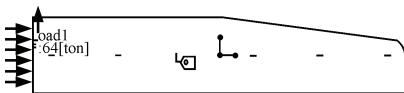


图 3 第二冲有限元模型

1.3.5 失效准则

文中所分析的装药，在卸载后出现缺陷，是装药随压装主应力变化而自身反弹所产生的内部应力所致，是装药所受不均匀拉应力的结果，为此强度分析的失效屈服准则为最大拉应力理论。

最大拉应力理论^[4]认为导致破坏的主要原因是最大拉应力 \max_stress_prin ，最大拉应力达到极限强度即导致断裂。即

$$\sigma_1 \leq [\sigma] \quad (3)$$

其中 σ_1 为最大拉应力。

将弹体压药瞬间卸载过程，可以近似视为静载荷，所以取安全系数 n 为 1， $[\sigma]=\sigma=2.71(\text{MP}_a)$ 。

1.3.6 结构分析

为进行优化装药位置，首先进行装药结构强度分析。当前装药(圆柱部长度为 153 mm)结构分析计算结果 $\max_stress_prin: 4.913\ 653\text{e}+00$ ，最大应力发生在装药形状突处，如图 4。



图 4 装药 \max_stress_prin 分布

1.3.7 装药位置可行性研究

1) 参数优化范围的确定。

在优化前，首先进行参数优化范围的确定，即进行选定参数的敏感度分析，以确定优化位置范围。

确定冲次位置在装药的圆柱部直线段后，因为首冲占有圆柱部直线段 5 mm，且第二冲装药具有一定高度，故选择设计变量初始值为 20 mm，终止设计变量为 153 mm，参数的敏感度分析结果，如图 5。

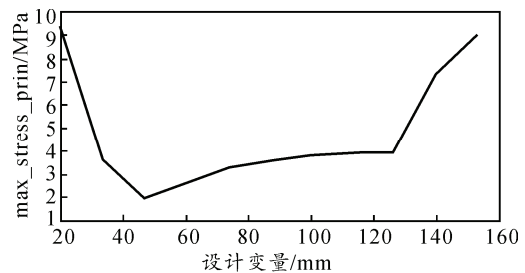


图 5 确定参数位置的范围

由图 5 得知，第二冲位置优化尺寸范围可行。

2) 位置参数优化。