

# 发射载荷下温压战斗部装药内的瞬时间隙<sup>1</sup>

张奇, 纪艳华, 魏可臻, 党海燕, 覃彬

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 发射载荷下战斗部的安全性理论是武器研究领域中的重要课题, 发射过程中装药介质内部的应力状态是发射安全性理论研究的重要内容, 局部应力的实验测量具有相当大的难度, 目前尚无成熟的测试方法和研究成果。本文通过发射过载数值模拟、力学分析, 探索温压药剂发射过载条件下的响应规律, 为温压药剂应用于过载发射武器平台奠定理论基础。研究表明, 发射载荷在战斗部底部、中部装药内产生的应力以压缩为主, 由于战斗部壳体与温压装药物理力学特性参数相差很大, 壳体内部的波速远大于温压装药, 因此装药与壳体顶部界面处可能出现瞬时间隙, 成为发射过程中出现早炸的“危险源”。

**关键词:** 发射载荷, 战斗部, 燃料空气炸药, 爆炸

## 1 引言

温压药剂与传统的高能炸药(HE)相比, 爆轰能量高、毁伤面积大, 对于软目标、中软目标、硬目标中的软部位、复杂地形和密闭空间, 具有明显的毁伤优势。在近几年局部战争中, 温压武器表现出良好的武器性能和毁伤效应, 引起社会广泛关注。燃料空气炸药 (FAE) 有两种起爆方式: 一次引爆型和两次引爆型。通常一次引爆型燃料空气炸药 (FAE) 亦称为温压药剂。两次引爆型 FAE 是通过一定的弹体结构首先使燃料分散, 分散的燃料与空气混合形成云雾, 可爆云雾由二次引信 (引爆装置) 起爆, 燃料分散和爆轰两次完成。而温压药剂依靠柱形弹体结构的中心装药使多相混合介质边分散、边爆轰。药剂的分散和爆轰一次完成。因此其战斗部结构简单、作用可靠。美国、俄罗斯等许多国家都已装备了适合于低过载发射平台的温压武器。

随着现代高性能武器系统的飞速发展, 对提高炸药装药在各种条件下安全性的要求日益迫切。在现代战争中, 高装填密度、高膛压、高初速已成为高性能火炮弹药武器系统的重要特性, 在这种残酷的发射环境下, 膛炸问题更为突出, 高能炸药装药在发射条件下特别是在高过载环境下的安全性问题已成为高能量炸药应用的一个障碍, 引起了广泛重视。

本文通过发射过载数值模拟、力学分析, 探索温压药剂发射过载条件下的响应规律, 为温压药剂应用于过载发射武器平台奠定理论基础。

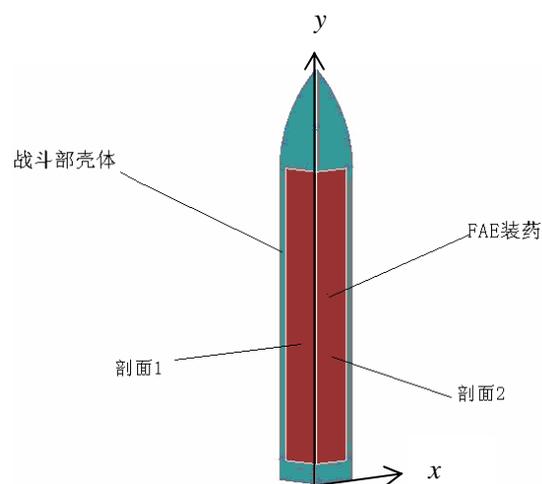


图1 模拟战斗部壳体及装药

Fig.1 compute model for war head

## 2 计算模型和参数

<sup>1</sup> 本课题受到教育部高校博士点专项科研基金资助 (20050007029)

发射载荷下装药的动态响应用如下计算方程来描述:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + di v(\rho_1 v_1) = 0 \tag{1}$$

$$\rho_1 \frac{Dv_1}{Dt} = di vA \tag{2}$$

$$\rho_1 \frac{De_1}{Dt} = \rho_1 h_1 - di vq + A_{ik} \dot{e}_{1ik} \tag{3}$$

其中  $\rho_1$  为装药介质密度,  $v_1$  为装药介质速度,  $A$  为装药介质内部应力,  $e_1$  为单位质量装药介质所具有的内能,  $h_1$  为单位质量装药介质在单位时间内放出的热量,  $q$  为热流密度。温压装药按弹塑性介质考虑。

战斗部高 40cm, 底端盖厚为 2cm, 内部装满温压装药。考虑到对称性, 为了减少计算时间, 实际仅模拟战斗部的四分之一部分, 如图 1 所示。

壳体材料为 45C<sub>r</sub> 号钢, 假设为弹塑性, 密度  $\rho = 7.81\text{g/cm}^3$ , 弹性模量  $E = 230\text{Gpa}$ , 泊松比  $\lambda = 0.3$ , 剪切模量  $G = 82\text{Gpa}$ , 屈服极限  $\sigma = 920\text{Mpa}$ 。

温压装药假设为弹塑性, 密度  $\rho = 1.47\text{g/cm}^3$ , 弹性模量  $E = 0.0474\text{Gpa}$ , 泊松比  $\lambda = 0.48$ , 剪切模量  $G = 0.016\text{Gpa}$ , 屈服极限  $\sigma = 7.7\text{Mpa}$ 。

不同应力峰值、不同加载率的发射载荷下, 温压战斗部装药介质内部的应力是不同的。根据试验研究中发射载荷的实际情况, 取发射载荷: 压力峰值 100(MPa), 加载率 40(MPa/ms)。

### 3 计算结果

以战斗部的底部中心为原点, 以战斗部中轴线为 y 轴, 以战斗部底端的一个径向方向为 x 轴, 如图 2, 以垂直于纸面的方向为 z 轴的正方向, 建立局部坐标系。

为了研究装药介质内部应力的变化规律, 分别取装药中的不同位置进行观察。取模拟战斗部装药的剖面 2(如图 1), 在这个平面上, 取距离装药底部 0cm, 距离装药中轴线依次为 0cm、1.65cm、3.68cm 的三个位置, 分别记为 A、B、C; 距离装药底部 11.15cm, 距离装药中轴线 2cm 的位置, 记为 D; 距离装药底部 15.28cm, 距离中轴线 0.33cm 的位置, 记为 E; 距离装药底部 25.87cm, 距离中轴线 1.67cm 的位置, 记为 F。取定的这六个位置在局部坐标系中的坐标见表 1。

表 1 选取装药中的不同位置的局部坐标(cm)

位置 坐标轴	A	B	C	D	E	F
X	0	1.65	3.68	2	0.33	1.67

Y	0	0	0	11.15	15.28	25.87
Z	0	0	0	0	0	0

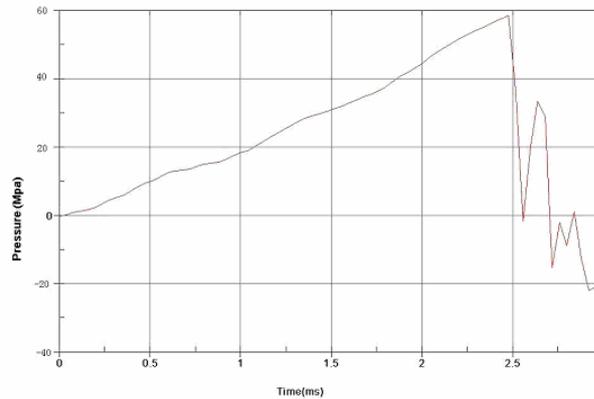


图2 距装药底部 0cm、装药中轴线 3.68cm 处应力随时间的变化

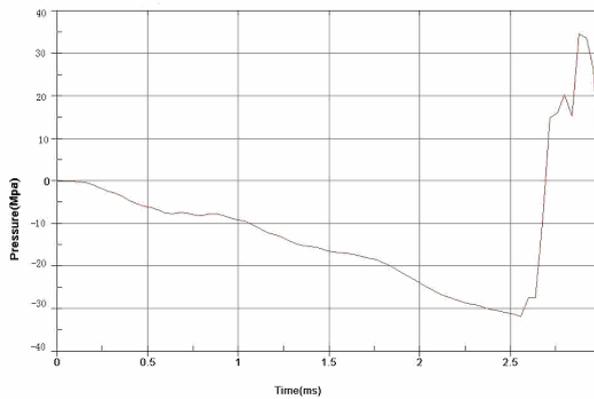


图3 距离装药底部 26cm、装药中轴线 1.67cm 处的应力随时间的变化

在温压战斗部底部施加最大载荷为 100Mpa、加载率为 40Mpa/ms 的载荷，得到装药介质内部不同位置处应力随时间的变化规律，在本文给定的发射载荷作用下，温压装药介质内部不同位置处的峰值应力见表 2。图 2、图 3 是典型的计算结果。沿装药轴向由下向上依次分布的 D、E、F 三个位置，F 处位于弹顶装药的端面。

应力波到达战斗部装药顶端以前，装药介质内部各点的应力值随时间增大。应力波幅值沿着轴向随距离不断衰减。在同一截面上装药介质内部的轴向应力值沿径向的略有变化，由中心向周边逐渐变小。

表 2 不同载荷作用下 FAE 装药中不同位置的应力峰值

位置	A	B	C	D	E	F
应力峰值计算结果 (Mpa)	65.1	64.5	58.1	37	24.6	34.8

温压装药介质内部的应力随时间发生变化。在装药介质的不同位置,应力随时间的变化规律明显不同。从计算结果可以看出,位于战斗部底部、中部的装药应力波形较为规整,以压应力为主,应力由初始状态(零应力状态)开始,首先出现压力,压力随时间逐渐增大,达到峰值后压力开始随时间减小,最后出现小幅值拉伸(见图2)。在战斗部装药上部(接近弹顶部位),装药介质内的应力状态较为复杂,应力由初始状态(零应力状态)开始,首先出现拉应力,拉应力随时间逐渐增大,达到峰值后拉应力开始随时间减小,最后出现压缩(见图3)。发射载荷作用于弹底后,应力波从战斗部底部开始向顶部传播,由于弹壳与装药物理力学特性相差很大,壳体内的应力波的波速可以达到装药的数倍,当壳体内的应力波达到弹顶以后,由于弹顶一般为锥形,应力波强度汇聚增大。当发生反射时,压应力变为拉应力,壳体顶部出现具有较大强度的拉伸。由于装药内的波速滞后,因此位于弹顶装药内的应力首先出现拉伸,换句话说,弹顶部位装药内的应力首先是有壳体内的“先遣”应力所致,当装药介质内的应力波达到顶部时,其压缩作用使“先遣”拉伸应力减小,最后产生压应力。致使位于顶部装药内的应力出现复杂的先拉后压状态。

笔者认为这一现象是发射安全性理论研究中需要考虑的重要问题。装药缺陷(包括孔隙)是引发早炸的主要原因<sup>[1-4]</sup>。位于顶部装药内的应力出现先拉后压状态,说明装药与弹顶分界面处可能存在着瞬时间隙,瞬时间隙在随后的压力作用下就可能成为引发早炸的“热点”。传统的发射安全性理论主要考虑战斗部“底隙”的危险性。通过本文的计算,对于某些装药,顶部具有瞬时间隙的可能性。应该引起足够的重视。

## 4 结语

本文应用有限元软件对温压装药介质在一定膛压载荷作用下的动态响应问题进行了数值模拟计算,计算结果表明:发射载荷在战斗部底部、中部装药内产生的应力以压缩为主,由于战斗部壳体与温压装药物理力学特性参数相差很大,壳体内的波速远大于温压装药,因此装药与壳体顶部分界面处可能出现瞬时间隙,成为发射过程中出现早炸的“危险源”。

## 参考文献

- 1 纪艳华.发射载荷下固液混合装药内孔隙动力响应特性研究.北京理工大学[D].2005  
Ji Yanhua.Dynamical respond of hole in mixed charge of warhead under launching laod[D]. Beijing Institute of Technology. 2005
- 2 Zhang Qi, Bai Chunhua, Dang Haiya, et al. Experimental Research on the Critical Ignition Temperature about a Kind of Fuel Air Explosive[J]. *Defense Science Journal*. 2004,54(4):469-474
- 3 张奇,纪艳华,白春华,等.发射过程中混合燃料介质内孔隙的绝热压缩(英文)[J].高压物理学报.2004,18(4):237-244

Zhang Qi, Ji Yanhua, Bai Chunhua, et al. Adiabatic Compression of Pores in Mixed Fuel Medium During Launching[J]. J. of High Pressure Physics. 2004, 18(4):237-244

4 王世英,胡焕性. B炸药装药发射安全性落锤模拟加载实验研究[J]. 爆炸与冲击. 2003, 23(3):275-278

Wang Siying, Hu Shiseng. Drop hammer simulation study on launch safety of composite B. Explosion and Shock Wave. 2003, 23(3):275-278

## **Instantaneous clearance in charge of thermo-baric warhead under launching**

Zhang Qi, Cui Junmei, Ji Yanhua, Wei Kezen, Dang Haiyan, Qin Bin  
(State Key Lab. Of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology,  
Beijing 100081)

### **Abstract**

The safety theory about the warhead under launching is a key subject in the weapon science. The stress state in the charge medium under launching is a key content. It is very difficult to measure local stress under launching. There have been not well measurement technique and result until now. The dynamical respond of charge in the warhead under launching is investigated in this paper by numerical compute and mechanics analysis, which will become a theory base for the use of thermo-baric warhead. The research result shows that the stresses in charge medium in the low and middle parts are pressure mostly in the time history. The instantaneous clearance will appear between the up end of charge and the shell of warhead because the stress wave velocity in the shell is larger than that in the thermo-baric charge medium. This clearance may be risk place for explosion of warhead in launching.

**Keywords:** launching load, warhead, fuel air explosive, explosion