

# 冲击载荷下炸药装药动态响应的有限元分析及热点形成机理的数值模拟

韩小平<sup>a</sup> 张元冲<sup>b</sup> 沈亚鹏<sup>b</sup> 张泰华<sup>c</sup> 赵壮华<sup>c</sup>

(a. 西北工业大学 西安 710072)(b. 西安交通大学 西安 710049)

(c. 西安近代化学研究所 西安 710061)

**摘要** 对稳态温度场中受冲击载荷作用的炸药药柱进行了弹粘塑性分析。在 Perzyna 本构模型的基础上,作了适当的补充和修正,将流动参数  $\gamma$ 、弹性模量  $E$  均视为温度的函数,动态有限元计算结果表明,计算曲线和实验曲线有很好的近似。为模拟材料中不均匀性的影响,在药柱中心引入一孔洞,有限元计算结果给出含孔洞药柱的粘塑性动态响应、药柱网格变形图以及药柱等温线,可以清楚看出在孔洞附近区域有局部高温产生。本文的本构模型和计算方法对于研究冲击载荷下炸药装药的力学响应以及炸药装药中热点形成机理的数值模拟提供了良好的基础。

**关键词** 炸药装药 弹粘塑性本构模型 空洞 热点 数值模拟

**中图分类号** TQ 560.72

## 1 引言

随着现代兵器的发展,炸药性能的不断改善和提高,炸药装药对冲击载荷的动态响应以及相关的安全性研究课题,愈来愈受到科研工作者的关注。高能材料的动态响应可从三个方面进行研究,即理论分析、数值计算和实验研究。近年来,由于研究方法和测试技术有了很大的进步,从而在材料动态性质的实验研究方面取得了很大的进展。但是,炸药部件是一次作用的结构,不能重复实验,要了解各部件的动态响应以及导致炸药起爆的物理制,必须进行大量的实验,然后用概率的方法取得一个定量的结论,从经济的观点来看,这是不现实的。在实验研究时,无论是实验室的模拟实验,还是靶场的实弹射击,能测试到的数据都非常有限,很难了解各材料参数对动态响应的影响。现在已有不少研究人员提出各种导致炸药起爆的机理,而且都找到一些实验现象和实验数据来支持他们的假设,但是由于高能材料动态响应的特殊性(粘塑性),以及冲击加载过程的复杂性,迄今为止,还没有找到一种有效的理论模型来比较完整地描述高能材料受冲击加载后的动态响应及相关性质,于是数值计算就成为研究这类问题的另一途径。

80年代开始,美国利费莫尔实验室不断改进实验技术,用计算机模拟研究凝聚炸药的爆轰波反应结构等问题,根据实验和数值模拟计算结果预估在实际使用过程中固体炸药的事故、生存能力和其它一些性质<sup>[1]</sup>。P. C. Chou等<sup>[2]</sup>采用DEFEL流体动力学有限元程

序模拟炸药装药受撞击实验,计算结果表明,在炸药装药中出现局部高温区。国内对固体炸药起爆机理的数值模拟方面的工作尚属起步阶段,因此,针对国内目前使用或改进的高能材料,结合实验研究,采用有限元计算方法,研究冲击载荷下炸药装药的动力响应,为研制抗早爆的装药提供导向性意见,具有重要的意义。

炸药装药是一种粘塑性材料,为了完成复杂环境和冲击加载条件下炸药装药的动态分析,需要采用粘塑性有限元方法进行应力、应变分析。Perzyna 粘塑性本构模型比较好地反映了应变率对材料力学性能的影响,形式比其它一些模型简单,待定的材料参数也比较少,在现有的粘塑性有限元计算程序中,一般都采用 Perzyna 本构模型,但目前还很少有人将温度的影响考虑进去。

我们在 Perzyna 本构模型的基础上,作了适当的补充和修正,将流动参数  $\gamma$ 、弹性模量  $E$  均视为温度的函数,对稳态温度场中受冲击载荷作用的炸药药柱进行了弹粘塑性分析,动态有限元计算结果表明,计算曲线和实验曲线有很好的近似。为模拟材料中不均匀性的影响,在药柱中心引入一孔洞,有限元计算结果给出含孔洞药柱的粘塑性动态响应、药柱网格变形图以及药柱等温线,可以清楚看出在孔洞附近区域有局部高温产生。本文的本构模型和计算方法对于研究冲击载荷下炸药装药的力学响应以及炸药装药中热点形成机理的数值模拟具有一定的理论意义。

## 2 炸药装药在冲击载荷下动态响应的有限元分析

### 2.1 弹粘塑性本构关系

假设总应变  $\{\epsilon\}$  可以分离成为弹性应变  $\{\epsilon_e\}$  和粘塑性应变  $\{\epsilon_{vp}\}$  之和,总应变率表示为

$$\{\dot{\epsilon}\} = \{\dot{\epsilon}_e\} + \{\dot{\epsilon}_{vp}\} \quad (1)$$

总应力率与弹性应变率之间仍由 Hook 定律决定

$$\{\dot{\sigma}\} = [D]\{\dot{\epsilon}_e\} \quad (2)$$

其中  $[D]$  是弹性矩阵。

粘塑性行为的发生取决于下式

$$F(\sigma, \dot{\epsilon}_{vp}) - F_0 = 0 \quad (3)$$

式中:  $F$  是屈服函数,  $F_0$  是单轴屈服应力,粘塑性流动仅出现在  $F > F_0$ 。

采用如下粘塑性流动规律

$$\{\dot{\epsilon}_{vp}\} = \gamma \langle \Phi(F) \rangle \frac{\partial F}{\partial \{\sigma\}} \quad (4)$$

式中,  $\gamma$  是控制塑性流动规律的流动参数。对于函数  $\Phi$  有不同的选择,两种常用的形式是

$$\Phi(F) = \exp\left[M\left(\frac{F - F_0}{F_0}\right)\right] - 1 \quad (5)$$

$$\Phi(F) = \left(\frac{F - F_0}{F_0}\right)^N \quad (6)$$

其中,  $M$  和  $N$  是给定的常数。

### 2.2 炸药装药动态响应问题的特征

在一定的温度环境下,受冲击载荷作用的炸药装药的动力分析与常温、静载条件下的

分析有很大不同。这类问题的研究,在兵器结构的安全设计、炮身强度设计等工程实际中有着重要的应用,寻找一种能较好地描述这些物理现象的本构关系式及求解途径是下面所要研究的内容。

固体炸药是多晶非金属材料,它的熔点很低(如 TNT 炸药的熔点仅为  $82.5\text{C}$ ),密度小(如国产 TNT 药柱的密度为  $1.616\text{g}/\text{cm}^3$ ),弹性模量和屈服强度值要比金属材料小得多。实验测试表明,固体炸药有很强的应变率效应和温度效应<sup>[4]</sup>,在冲击载荷作用下,固体炸药的屈服应力明显高于静屈服应力;随着环境温度的改变,固体炸药的静态应力应变曲线和动态应力应变也有明显不同。要描述上面的物理现象,用经典的弹塑性本构关系显然已不能满足要求。

在式(4)中,严格地说,流动参数  $\gamma$ 、 $\Phi(F)$  都是温度  $T$  的函数,但一般都认为  $\gamma$ 、 $\Phi(F)$  与温度无关,这样的假设能与大多数金属材料实验结果吻合。对于固体炸药,如果仍采用以上假设,可能会使计算结果与实际情况有较大误差。我们在 Perzyna 本构关系式的基础上,为使问题更加接近实际,进行如下修正:

根据实验结果,在冲击加载条件下,弹性模量和屈服强度随着温度升高有降低的趋势,特别是弹性模量有明显的热软化效应,因此在计算中将弹性模量  $E$  考虑为温度的函数,由 TNT 药柱的实验结果得到具体函数形式为

$$E(T) = 48.41(T_m - T) \quad T < T_m \quad (7)$$

其中:  $T_m$  为 TNT 炸药的熔点,  $T$  为任一时刻的温度。

在粘塑性本构关系的推导中,可以看到流动参数  $\gamma$  和粘度系数  $\mu$  成反比例关系。对 TNT 炸药,我们采用如下粘度系数表达式<sup>[4]</sup>:

$$\begin{aligned} \mu &= 1000\text{poise} \quad T < T_m \\ \mu &= \mu_0 \exp\left(\frac{p}{p_0}\right) \exp\left(\frac{E_m}{T} - \frac{E_m}{T_m}\right) \quad T > T_m \end{aligned} \quad (8)$$

上式中:  $\mu_0$  为初始粘度,  $p_0$  为参考压力,  $E_m$  为激活温度。

### 2.3 热功转换的近似表达式

在冲击载荷作用下,加载历时很短,压力上升时间为  $10\text{ms}$  量级,而固体炸药的导热率很低,因此材料的变形可以认为是一个绝热过程,在加载变形后,绝大部分非弹性变形功转化为热量而引起温升  $\Delta T$ , 即有

$$\rho C \Delta T = \beta \int \sigma d\epsilon \quad (9)$$

式中:  $\rho$  为材料密度,  $C$  为材料比热,  $\beta$  为非弹性形变功转化为热量的百分比,作为一阶近似,取  $\beta=1$ , 则

$$\Delta T = \frac{1}{\rho c} \int \sigma d\epsilon \quad (10)$$

## 3 算例及结果讨论

本文的计算程序是在 D. R. J. Owen<sup>[5]</sup> 给出的显式瞬变动态响应计算程序的基础上,进行了适当的改进和扩充,增加了温度场的计算,在粘塑性本构模型中将流动参数  $\gamma$  和弹

性模量  $E$  均看作为温度的函数,具体的函数形式见式(7)、(8)。根据固体炸药的热传导率很低的特点,在冲击载荷作用下材料的变形过程可近似认为是绝热过程,热功转换的公式采用式(10)给出的形式。

将上述的方程组,结合初始条件与边界条件,采用中心差分格式,即可对药柱的动态响应进行数值计算。

药柱的尺寸为  $19.1\text{mm} \times 38.2\text{mm}$ ,进行数值计算时输入的主要数据列于表1。

药柱受力示意图见图1。取药柱纵截面的  $1/4$  研究,分成16个8结点轴对称单元。

图2表示药柱上端面中间结点在垂直方向的动态响应。分别采用了弹性小变形本构模型和考虑几何非线性影响的弹性大变形本构模型,和实验结果进行了比较,可以看到,采用这两种本构模型计算得到的动态响应曲线和实验曲线的偏差较大,弹性解的近似显然不可取。

图3表示药柱在小位移、弹性粘塑性本构模型下的动态响应。由结果可见,由于采用了弹性粘塑性材料模型,这时的计算曲线已接近实测曲线,相对误差  $< 20\%$ 。该模型虽然反映了材料的应变率效应,但是忽略了材料的热软化效应,这是它的一个不足之处。

图4给出在本构模型中考虑了热软化效应以后材料的动态响应曲线。结果表明,考虑温度效应后,对动态响应的影响是很明显的。和实验结果比较,相对误差小于  $15\%$ 。

表1 TNT药柱材料参数

Table 1 Material nature for TNT column

$\rho/$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$C/$ ( $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ )	$\mu_0/$ ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )	$T_0/$ K	$p_0/$ MPa	$Y/$ MPa	$E/$ MPa	$E_m/$ K	$\gamma$
1616.0	1290.0	100.0	295.0	165.0	38.5	3050.0	3880.0	10000

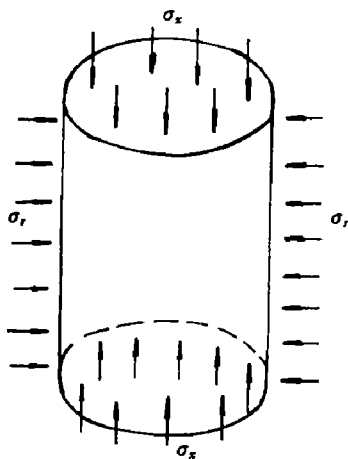


图1 药柱受力图

Fig. 1 Loading illustration

对于浇铸或压装的炸药装药来说,在加工过程中不可避免地存在气泡、孔洞、杂质等缺陷。在炮弹发射状态或炸药装药受到冲击载荷时,可能会引起炸药装药的早爆,因此,对带空洞的药柱在压力和温度变化条件下进行应力、应变分析是十分必要的。实际炸药装药

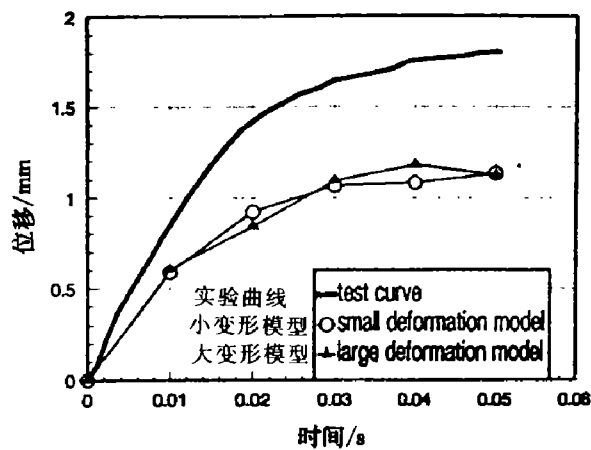


图2 弹性小变形、大变形动态响应

Fig. 2 Results of the transient dynamic analysis for explosive column

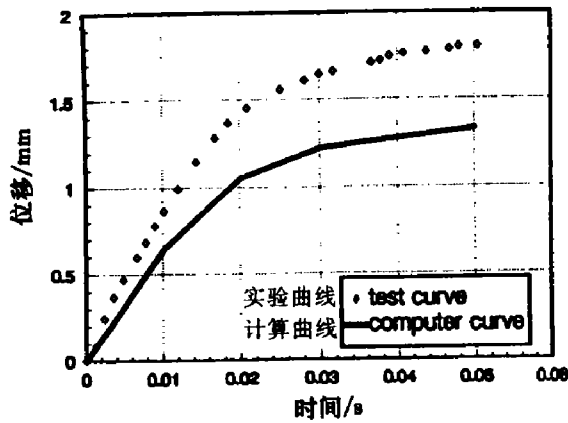


图 3 弹粘塑性动态响应  
Fig. 3 Elasto-visco-plastic dynamic response

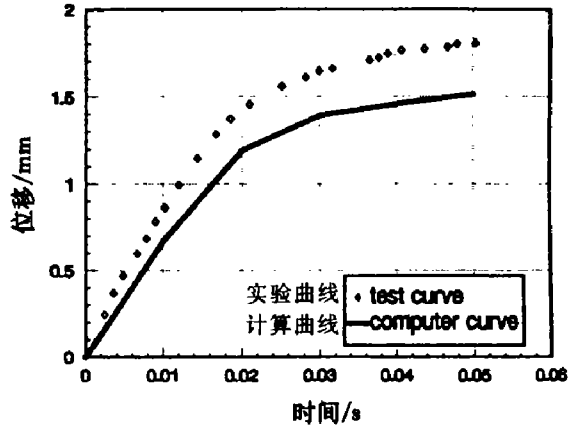


图 4 弹粘塑性动态响应(考虑温度影响)  
Fig. 4 Elasto-visco-plastic dynamic response (temperature dependent)

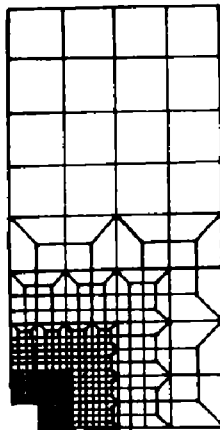


图 5 有限元网格划分  
Fig. 5 Finite element mesh

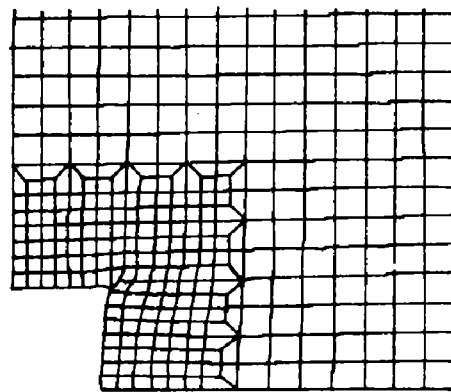


图 6 药柱变形后网格图(局部)  
Fig. 6 Deformed column mesh(local)

中孔洞为管状或树枝状。经过探伤后,多大尺寸的孔洞可视为合格,目前尚未形成军标,只是在加工时尽量减小孔洞。

为了进行冲击载荷下炸药装药中热点形成机理的数值模拟,我们取一在中心含圆柱形孔洞的 TNT 药柱作为研究对象。认为孔洞中是真空的,不考虑气体压力。计算的初始状态参考了实验测试时加载条件,取载荷函数

$$p(t) = 5.08034 \times 10^6 t^3 - 61.0734 \times 10^4 t^2 + 252.182 \times 10^2 t - 28.994 \quad (11)$$

作为计算中的激励力。时间  $t$  的单位为 s, 载荷  $p$  的单位为 MPa。

图 5 表示用于计算的 1/4 药柱剖面的有限元网格。内含圆柱孔洞的尺寸为  $r = 1.2\text{mm}$ ,  $z = 1.2\text{mm}$ 。图 6 给出  $t = 0.0075\text{s}$  时刻药柱变形图。图 7、图 8 给出药柱变形后升温曲面和等温线图,清楚地展示了在圆柱孔洞拐角处温度的局部集中。这可以说明在大的速度梯度处容易形成局部高温。

图 9、图 10 为内含球形孔洞( $r=0.6\text{mm}$ )药柱的温升曲面和等温线图,可以清楚地看到在球形孔洞附近一薄层内形成局部高温,而距离孔洞较远处,温度变化很小。图 11、图 12 为内含椭球形孔洞( $a=0.6\text{mm}, b=1.2\text{mm}$ )药柱的温升曲面和等温线图。将椭球孔洞的长短轴位置对调以后,其温升曲面和等温线图见图 13、图 14。对椭球形孔洞,在孔洞边缘曲率变化较大处容易产生高温。

如果孔洞尺寸很小( $r=0.2\text{mm}$ ),在孔洞附近仍能形成局部高温,见图 15、图 16。

图 17、图 18 给出  $t=0.0086\text{s}$  时刻内含球形空洞( $r=0.5\text{mm}$ )药柱的温升曲面和等温

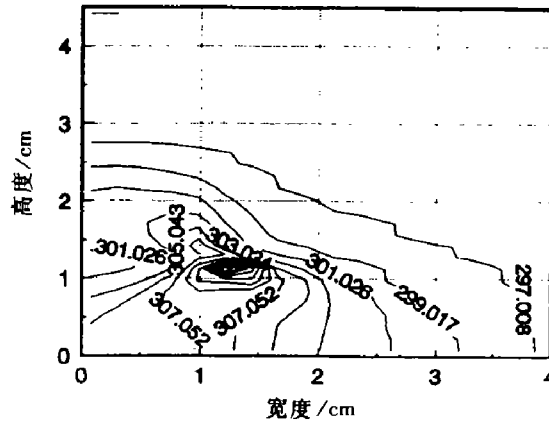
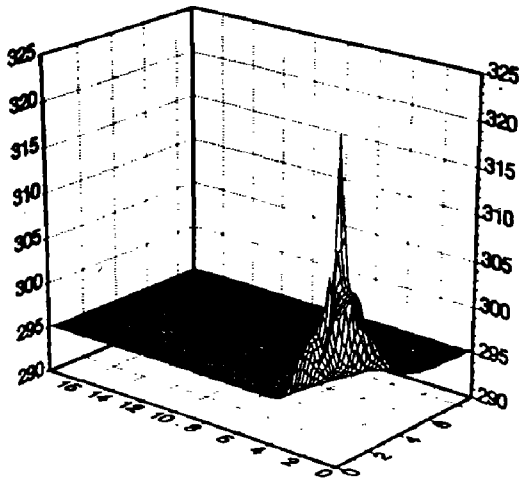


图 7 药柱温升曲面( $r=1.2\text{mm}, z=1.2\text{mm}$ )

图 8 药柱等温线( $r=1.2\text{mm}, z=1.2\text{mm}$ )

Fig. 7 Temperature distribution for column( $r=1.2\text{mm}, z=1.2\text{mm}$ )

Fig. 8 The contour plot of temperature ( $r=1.2\text{mm}, z=1.2\text{mm}$ )

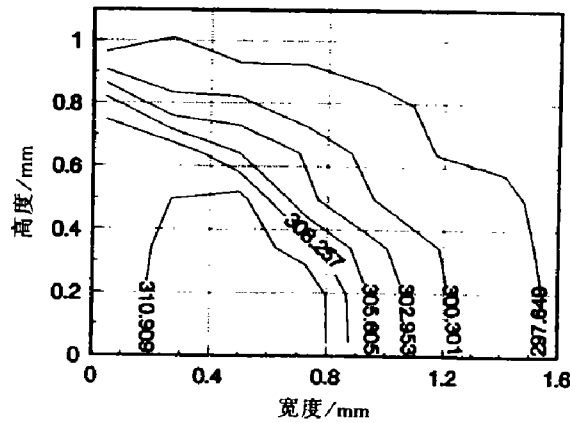
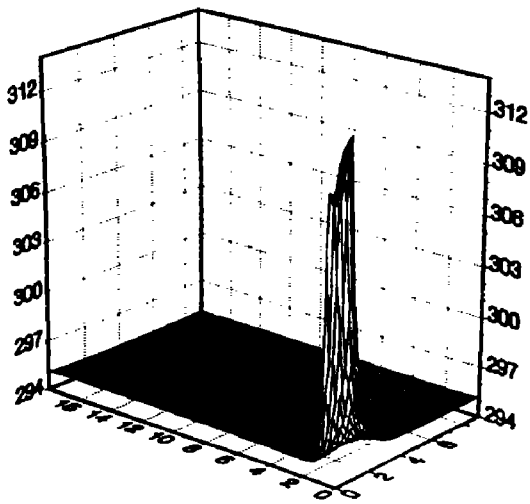


图 9 药柱温升曲面( $r=0.6\text{mm}$ )

图 10 药柱等温线( $r=0.6\text{mm}$ )

Fig. 9 Temperature distribution for column( $r=0.6\text{mm}$ )

Fig. 10 The contour plot of temperature ( $r=0.6\text{mm}$ )

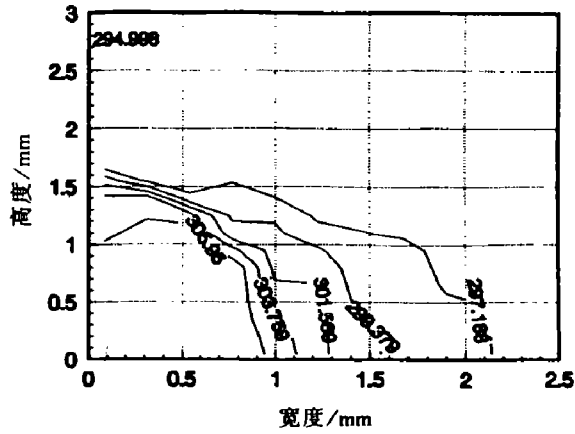
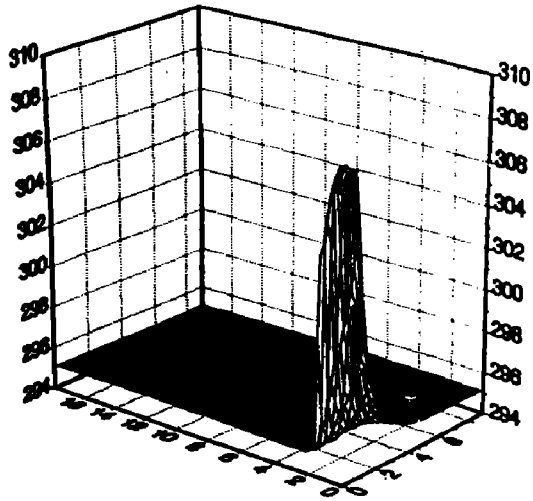


图 11 药柱温升曲面( $a=0.6\text{mm}, b=1.2\text{mm}$ )

图 12 药柱等温线( $a=0.6\text{mm}, b=1.2\text{mm}$ )

Fig. 11 Temperature distribution for column( $a=0.6\text{mm}, b=1.2\text{mm}$ )

Fig. 12 The contour plot of temperature ( $a=0.6\text{mm}, b=1.2\text{mm}$ )

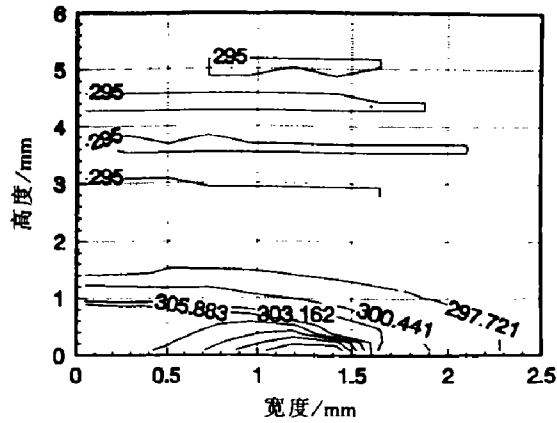
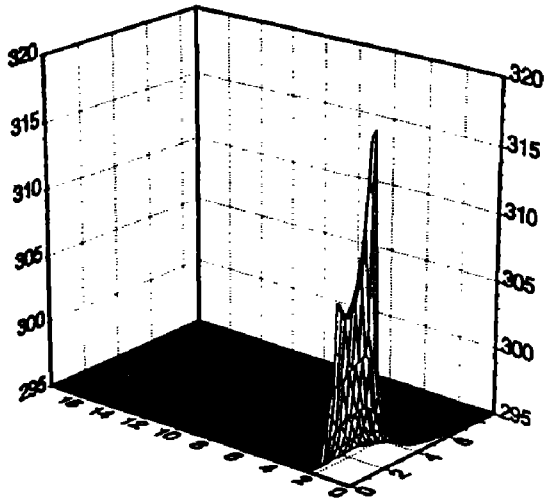


图 13 药柱温升曲面( $a=1.2\text{mm}, b=0.6\text{mm}$ )

图 14 药柱等温线( $a=1.2\text{mm}, b=0.6\text{mm}$ )

Fig. 13 Temperature distribution for column( $a=1.2\text{mm}, b=0.6\text{mm}$ )

Fig. 14 The contour plot of temperature ( $a=1.2\text{mm}, b=0.6\text{mm}$ )

线,与图 9、图 10 结果比较可以看到,温升和冲击加载的持续时间也有较强的依赖关系,在冲击加载持续的短暂时间内,随着塑性应变积累会引起更高的局部温升。

由药柱变形图、等温线可看到,在冲击载荷作用下圆柱空洞拐角处发生强烈的畸变,剪切应变高度集中,在这种情况下产生局部高温主要受剪切机理控制。和圆柱形空洞比较,球形、椭球形空洞的温升要缓慢一些。球形空洞的局部高温集中在空洞周围一薄层内,距离空洞较远处,温度变化很小。对椭球形空洞,大的温度梯度主要集中在椭圆长轴附近,长轴附近温升要比短轴大得多,这主要是因为椭球空洞长轴附近的变形较大,这种情形产生局部高温显然不是受剪切机理控制,而是空洞塌陷或粘塑性功转变成热等机制起主要作用。

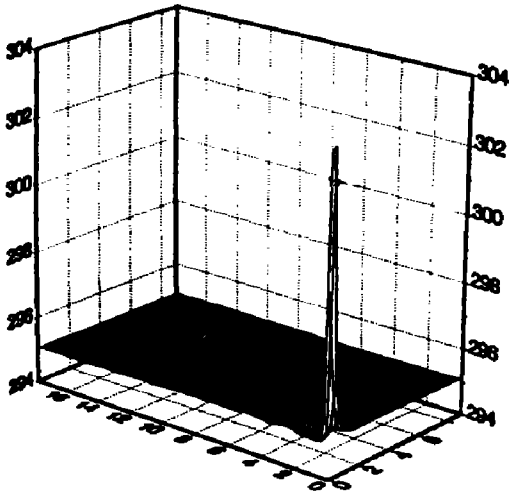


图 15 药柱温升曲面( $r=0.2\text{mm}$ )

Fig. 15 Temperature distribution for column( $r=0.2\text{mm}$ )

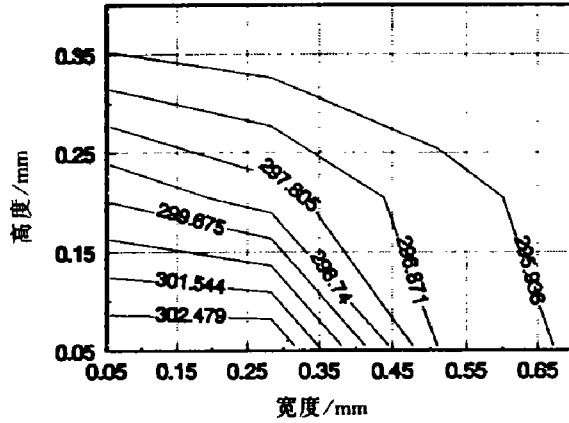


图 16 药柱等温线( $r=0.2\text{mm}$ )

Fig. 16 The contour plot of temperature ( $r=0.2\text{mm}$ )

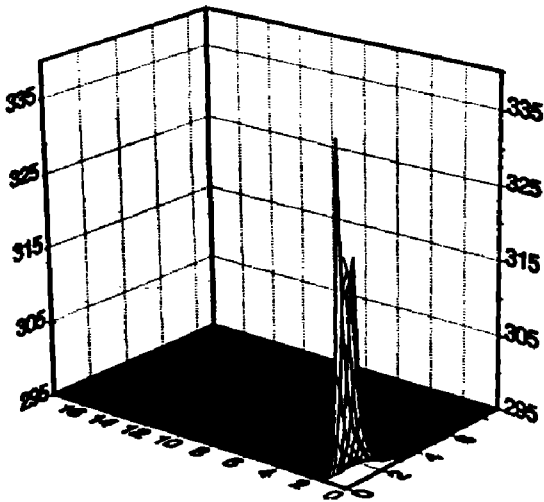


图 17 药柱温升曲面( $r=0.5\text{mm}$ )

Fig. 17 Temperature distribution for column( $r=0.5\text{mm}$ )

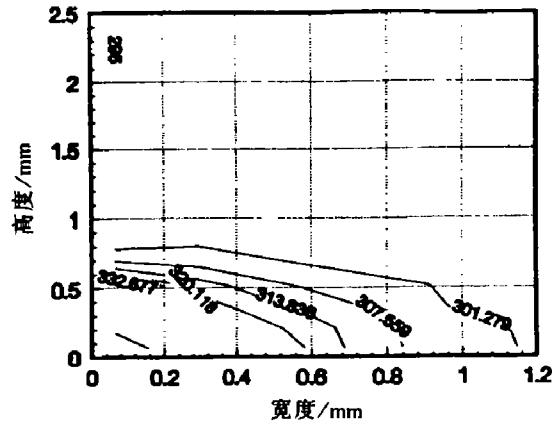


图 18 药柱等温线( $r=0.5\text{mm}$ )

Fig. 18 The contour plot of temperature ( $r=0.5\text{mm}$ )

根据数值模拟计算结果,可以对局部高温/热点这一过程的形成进行如下分析:在变形初始阶段,药柱孔洞附近区域是“弱区”,应变增长相对地较快,变形不久,应变硬化和应变率硬化起着主导作用,从而阻止了变形在孔洞附近区域快速增长,反而使变形又趋于均匀化。但随着外载的继续作用,平均应变不断增加,热软化的作用就越来越显著,其作用一旦大于应变硬化和应变率硬化时,孔洞附近区域的应变剧烈增加,而其它区域的应变的增加相对平缓,这时就意味着进入了变形局部化过程。在给定的应变速率下,当平均应变达到某一临界值时,孔洞附近区域的应变、应变率和温度均会剧烈增加,这对应着局部高温/热点的产生。

文献[6]提供了实验得到的低倍光学显微镜照片,可看见一些大小不等、分布不均的黑色斑点,以及一些粗糙的空穴,这些黑点或空穴就是热点存在的地方,它们是由冲击波



作用在材料的疵病、不均匀处(如孔洞等)引起的。文献[7]通过对快速加载后的 TNT 药柱进行显微组织分析,发现药柱中有绝热剪切带形成,分析讨论后认为,这是由于在快速加载条件下一些局部区域经历了应变高度集中—晶粒剧烈扭曲—剪切带这一过程。我们的计算结果与以上的实验描述是相符合的,可以认为在冲击载荷下,在材料缺陷处(如孔洞),局部应变集中,由于粘性等原因使塑性变形功转化为热能。一般固态炸药的导热率很低,在高应变速率下,加载时间很短,材料向周围的热量传递很少,致使局部区域的非均匀应变引起非均匀生热,非均匀温度促使较热区域中材料塑性流动,在局部应变集中处,产生局部高温,使该局部区域材料变“软”,而整体的变形趋向于变得更不均匀,随着进一步加载,局部塑性变形更加明显,这样就加速了局部高温/热点的形成和扩展。

Frey<sup>[8]</sup>在研究炸药中热点形成机理时,采用了空洞塌陷模型,认为在空洞塌陷过程中,几种机理分别或共同起作用,但在压力上升时间短、粘度高和屈服强度低时,粘塑性功产生的热量最主要的,提出压力率、空洞尺寸、材料粘度、屈服强度和熔点等对热点形成的综合影响。文献[9]给出,大量实验结果表明,至少存在两种起爆机理,已经发现 TNT 炸药的起爆明显受剪切控制,多孔的甲硝胺炸药起爆也是剪切机制。究竟什么条件使其中之一的起爆机理起主导作用,目前尚无定论。一般来说,如果产生的冲击波并不强,但是炸药的应变及应变率却很高,在这种情形下就容易产生剪切起爆。炸药的热点/起爆过程是一个十分复杂的过程,是多种因素协同作用的结果,正因为如此,企图仅仅依靠某种单一的理论或机理是无法研究清楚、也不能完全解释炸药的热点/起爆过程,只能有针对性的、有侧重点的利用一种理论模型或机理,进行实验研究和理论分析,作出一些合理的推断或推测。从我们的计算结果也可看出,局部高温—热点的形成并不仅仅只和剪切带/局部高温这一机制有关,其中也涉及到空洞塌缩过程和粘塑性功转变成热等机制,因此,可以认为,实际中最可能出现的情况是,几个影响较大的主要机理控制热点/起爆的整个过程。

一般固态炸药,其内部是疏松多孔的,我们在计算模型中只是在药柱中心处考虑一空洞,这并不完全符合真实的实际材料,这方面的工作还需要进一步深入研究。

## 4 结 论

本文的主要结论如下。

(1) 对于炸药装药这种特殊材料,由于其熔点低、密度小、热传导率低等性质,材料具有明显的应变率、温度效应,因此,在有限元计算所采用的本构模型中必须考虑它们的影响。

(2) 在 Perzyna 本构模型的基础上,作了适当的补充和修正,将流动参数  $\gamma$ 、弹性模量  $E$  均视为温度的函数,动态有限元计算结果表明,计算曲线和实验曲线有很好的近似。

(3) 采用计及温度影响的弹粘塑性本构模型,计算发现不同形状的空洞对局部高温的形成有明显影响。含圆柱形空洞药柱在空洞拐角处,速度梯度变化很大,有局部高温产生。而对含有球形空洞和椭球形空洞药柱的同样计算表明,局部高温区域的形成要缓慢一些。

(4) 计算结果表明,不同形状的空洞,在冲击载荷作用下产生局部高温的机制不同。圆柱空洞的局部高温集中在空洞拐角处,此处剪切应变高度集中、速度梯度很大,在这种

情况下产生局部高温主要受剪切机理控制。而球形、椭球形空洞的局部高温集中在空洞周围一薄层内,这时是空洞塌陷或粘塑性功转变成热等机制起主要作用。

(5) 本文的本构模型和计算方法对于研究冲击载荷下炸药装药的力学响应以及炸药装药中热点形成机理的数值模拟具有一定的理论意义,对进一步开展含能材料热点形成机理的数值模拟提供了良好的基础。

#### 参 考 文 献

- 1 章冠人. 炸药起爆机理的研究. 爆炸与冲击, 1989, 9(2): 184~190
- 2 Chou P C, et al. Adiabatic Shear Band Formation in Explosives due to Impact. Inter Conference on Shock-Wave and High-Strain-Rate Phenomena in Materials, San Diego, 1990. 1~15
- 3 韩小平, 张元冲, 等. 高能材料动态力学性能的研究. 爆炸与冲击, 1995, 15(1): 20~27
- 4 Frey R B. The Initiation of Explosive Charge by Rapid Shear. The Seventh Symposium (International) on Detonation, Annapolis, 1981. 36~42
- 5 Owen D R J, Hinton E. Finite Elements in Plasticity—Theory and Practice. Pineridge Press Limited, 1980. 377~429
- 6 夏先贵, 等. 冲击载荷下含能材料的形态和物理化学特性. 爆轰波与冲击波, 1994, (3): 1
- 7 韩小平, 张元冲, 沈亚鹏, 等. 快速加载下 TNT 材料中绝热剪切带的细观研究. 实验力学, 1995, 10(2): 125~132
- 8 Frey R B. Cavity Collapse in Energetic Materials. Proc 9th Symp (International) on Detonation, Okegan, 1989. 68~80
- 9 章冠人, 陈大年. 凝聚炸药起爆动力学. 北京: 国防工业出版社, 1991. 255

## FINITE ELEMENT ANALYSIS OF DYNAMIC RESPONSE OF EXPLOSIVES SUBJECTED TO IMPACT AND SIMULATION CALCULATION OF HOT SPOT FORMATION IN EXPLOSIVES

Han Xiaoping<sup>a</sup>, Zhang Yuanchong<sup>b</sup>, Shen Yapeng<sup>b</sup>

Zhang Taihua<sup>c</sup>, Zhao Zhuanghua<sup>c</sup>

(a. *Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072*)

(b. *Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049*)

(c. *Xi'an Morden Chemistry Research Institute, Xi'an, 710061*)

**ABSTRACT** In this paper elasto-visco-plastic analysis of explosive specimen subjected to impact under steady temperature field are conducted. The dominative equations are presented and the stress and the strain rate as a function of time are studied. The amendment of Perzyna's model of material behaviour, including Young's modulus and fluidity as a function of temperature, has been conducted. To test this developed model, the comparison between the experimental results and calculation values have been done. The inhomogeneity of material is modeled by introducing a void at the center of the specimen. The numerical results show the concentration of strain near the void. The contour plots and curved surfaces of temperature demonstrate the elevation of the temperature field near the void.

**KEY WORDS** explosive column, elasto-visco-plastic model, void, hot spot, numerical simulation