含气体间隙装药撞击实验起爆模型*

陈　力，丁雁生
（中国科学院力学研究所，北京 100080）

摘要：实验表明炮弹炸药装药底隙是诱发膛炸的最危险因素，证实"快速压缩间隙气体加热炸药"是炸药装药撞击起爆的最重要机制。分析炸药装药撞击起爆模拟实验，在忽略化学反应的条件下，建立了含气体间隙炸药装药撞击起爆一维模型，给出了描述低速气炮实验中气隙温度分布的方程及参数，即炸药最高温度的控制方程及参数。

关键词：炸药；撞击；起爆；气隙

1 引　言

炮弹的炸药装药在大口径后膛炮内所受的惯性冲击下，炸药装药偶尔会在炮膛内爆炸。大口径后膛炮的膛炸，是困扰我国兵器工业多年的老大难问题。

目前的共识是，由于炸药装药中含有缺陷，才使得炸药装药在这样的冲击下会发生爆炸。而在所有的缺陷中，气隙又是最危险的，为此，我们对含气隙炸药装药进行了低速气炮的撞击实验。

本文中试图对低速气炮实验进行分析，给出描述实验中含气隙炸药装药气隙中温度分布方程及控制参数，以此解决含气隙炸药装药在撞击下的力学及热学响应问题。

2 低速气炮实验过程及物理图像

实验过程是这样的：先将两个装药柱放入厚壁钢套筒中，药柱间封闭了一气隙。药柱两端各放了一个塑料塞。一端的塑塞顶在大质量的砧体上，另一端的塑塞通过击杆与缓冲器相连。低速气炮的炮弹通过击杆与缓冲器撞击含气隙的炸药。随着气隙的压缩，气隙中的气体压力将增大，温度将升高。温度升高后的气体将向炸药、套筒传热，导致炸药、套筒由与气隙接触的表面开始升温。炸药内部的温度、压力满足一定关系，炸药便发生化学反应，产生爆炸。与压力相比，温度对炸药的化学反应更重要。换句话说，化学反应速度对温度极为敏感。因此，我们注意点主要放在化学反应前的炸药内部的温度分布上。

3 基本假设及气隙中气体温度的控制参数

经过简单的估计及简化后，假设：炸药的导热率不随温度变化；间隙气体为封闭的理想气体；忽略摩擦所产生的热，气体向外传热是一维的；忽略气隙内的波动；不计炸药的化学反应。

这样，由气隙质量守恒、能量守恒、状态方程、理想气体导热系数关系可以得到气隙温度分布、变化控制方程。由控制方程结合气隙的初、边界条件，可得到五个描述气隙温度分布、变化的无量纲控制参数：γ，$T_{an}=\dfrac{T_a}{T_c-T_a}$，$P=\dfrac{p_m}{p_a}$，$D=\dfrac{k_a t_m(T_c-T_a)}{p_m\delta^2}$，$Q=\dfrac{k_c}{k_a}\dfrac{\delta}{\sqrt{\alpha_c t_m}}$。这里 γ 为气体的比热比，T_a 为气隙的初始温度，p_a 为气隙的初始压力，δ 为气隙的初始厚度，k_a 为气隙的初始温度下的导热系数，p_m 为气隙感受到的特征撞击压力，t_m 为气隙感受到的特征撞击压力脉宽，T_c 为炸药的临界起爆温度，α_c 为炸药的导温系数。

炸药的最高温度在炸药与气隙接触的表面上。炸药是否爆炸，取决于气隙内气体温度分布，即由上述的五个无量纲控制参数控制。

---

* 作者简介：陈　力（1964—　），男，副研究员。

4 讨 论

因为炸药热起爆准则为 $\mathrm{Max}[T_n(a_n,t_n)]=1$，这里 a_n 为气隙的无量纲边界位置，炸药“响”与“不响”的分界线可表示 $f(T_{an},P,D,Q,\gamma)=0$。将这些无量纲参数重新组合后，可得到炸药“响”与“不响”的分界线的另一种表达式 $f\left(\frac{T_a}{T_c},\frac{p_m}{p_a},\frac{p_a\delta^2}{k_a T_a t_m},\frac{k_c\rho_c c_{Vc}}{k_a\rho_a c_{Va}},\gamma\right)=0$。

实验中，可变的量只有两个：$\frac{p_m}{p_a},\frac{p_a\delta^2}{k_a T_a t_m}$。因此，在 $\frac{p_m}{p_a}\sim\frac{p_a\delta^2}{k_a T_a t_m}$ 平面上应存在着实验中炸药“响”与“不响”的分界线 $f\left(\frac{p_m}{p_a},\frac{p_a\delta^2}{k_a T_a t_m}\right)=0$，即 $\frac{p_m}{p_a}=f\left(\frac{p_a\delta^2}{k_a T_a t_m}\right)$。

5 结 论

本文中给出了描述低速气炮实验中气隙温度分布的方程及参数，即炸药最高温度的控制方程及参数。这些控制参数为气体的比热比、初始相对温度、气体压缩比、气体输出输入比、界面传热系数比。