

炸药装药撞击起爆低速气炮模拟实验系统

陈力¹ 丁雁生²

100080 北京中国科学院力学研究所

摘要: 本文建立的低速气炮模拟实验系统可以实现炸药装药撞击起爆基本现象的定性、定量观测。延长载荷作用时间是用低速气炮模拟炸药装药发射安全性的技术关键。本文用高压气垫式缓冲器能延长载荷作用时间,模拟膛压波形。低速气炮实验结果证实,炸药装药撞击时发生了变形、剪胀、局部破坏、气体压缩等一系列力学变化;这些力学变化在一定条件下导致炸药局部爆炸。载荷与缺陷是影响含缺陷装药撞击起爆的基本特征量。**关键词:** 低速气炮; 炸药装药; 撞击起爆; 缺陷

引言

炮弹的炸药装药在大口径后膛炮内所受的惯性冲击压力约 100MPa 量级,脉宽为 10 毫秒量级。在此冲击下,炸药装药偶尔会在膛内爆炸。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。就炸药装药而言,只有其含有缺陷,才可能在这样的冲击下会发生爆炸。因此,研究含缺陷装药在这样冲击下的起爆规律,是评估装药安全性的重要问题。

产生这样长时间的冲击,通常需要较大实验装置,如美国海军水面武器中心[1](Naval Surface Weapon Center)的后座冲击模拟器,国内 204 所的落锤式撞击压缩实验装置等。这些大型实验装置需要的经费较多。

我们利用现有的低速气炮系统,研制合适的缓冲器,使低速气炮也能产生幅度 100MPa 量级,脉宽为 10 毫秒量级的冲击。这样我们可以经济快捷地研究含缺陷装药在这样冲击下的起爆规律。

实验装置及测试方案

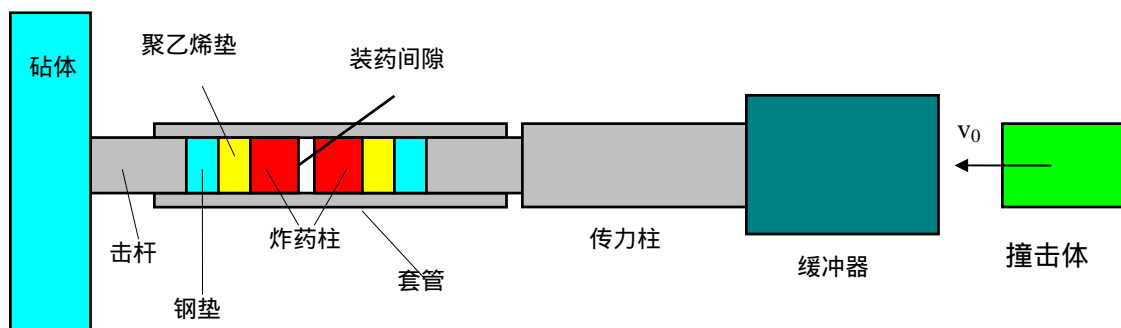


图 1. 实验方案示意图

如图 1 所示,我们用低速气炮撞击载荷模拟炸药装药在膛内受到的惯性冲击。低速气炮实验系统由两部分组成:低速气炮加速发射部分和撞击炸药柱的实验部分。加速发射部分主要由低速气炮构成,低速气炮(图 2)主要由高压气仓和炮管组成,高压气仓的压力可达 15MPa,炮管长约 5 米,其最大发射速度可达 400m/s。

图 3 为炸药柱撞击的实验部分。撞击体在低速气炮内加速至速度 v_0 后撞击在缓冲器上,缓冲器的作用是将普通撞击载荷时间从百微秒量级提高到约 10 ms 量级。撞击体通过缓冲器及传力柱对套管内的含缺陷炸药柱进行冲击。为防止炸药柱从套管内壁与钢垫的缝隙中挤出,炸药柱外用聚乙烯垫堵塞。实验段的另一端用质量很大的砧体顶住,以便撞击载荷能有效地加在炸药柱上。炸药为 TNT,炸药柱尺寸为 $\Phi 20 \times 20$ 毫米。用两药柱间的含气空隙构成气隙型缺陷;用一端有圆柱状凹坑的药柱构成孔洞型缺陷。实验中我们测试了撞击体的速度、左击杆所受的

¹ 陈力: 40 岁,中国科学院力学研究所副研究员,一直从事爆炸力学研究。

² 丁雁生: 62 岁,中国科学院力学研究所研究员,长期从事爆炸力学研究。

压力、右击杆的位移。



图 2 加速撞击体的低速气炮

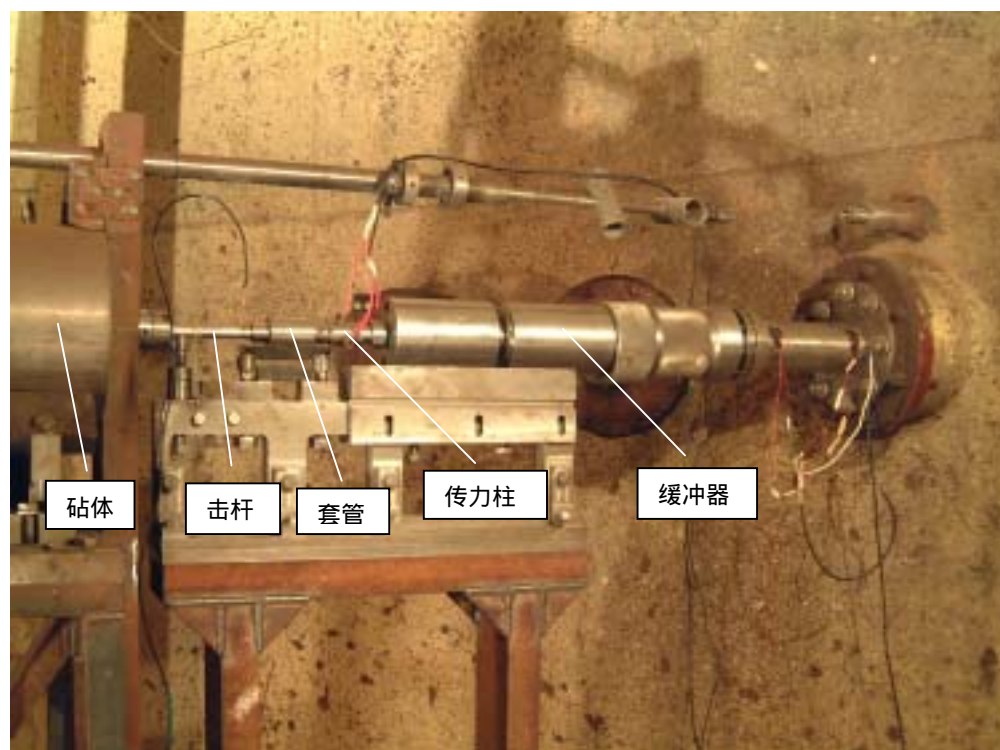


图 3 撞击炸药柱的实验段

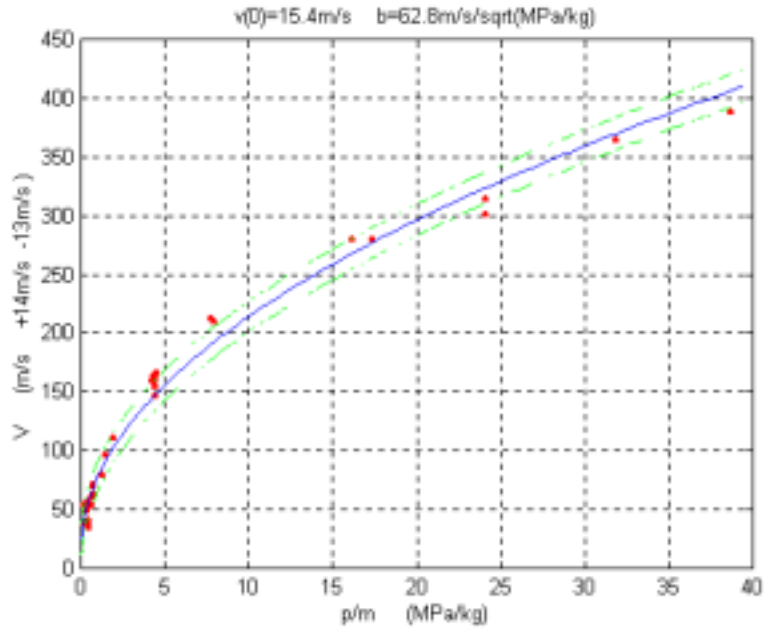


图 4 低速气炮发射特性曲线
(红色为实验点, 蓝色实线为拟合曲线, 绿色点划线为误差带)

为便于实验研究, 我们首先找到了低速气炮系统的充气压力 p_0 、弹体质量 M 与弹体出炮口速度 v_0 的实际规律(图 4): $v_0 = v(0) + b\sqrt{\frac{p_0}{M}}$ 。式中 $v(0) = 15.4 \frac{m}{s}$, $b = 62.8 \frac{m/s}{\sqrt{MPa/kg}}$ 。

该经验公式不适用于 p_0 很小的情况, $p_0 < 0.4 \text{ MPa}$ 时炮弹发射已很不稳定。

通常, 金属件撞击的接触时间为、二百微秒, 比发射造成的惯性冲击时间(十毫秒上下), 小一两个数量级。用气炮模拟炸药装药发射安全性的关键是研制能延长载荷作用时间的缓冲器。我们采用气体弹簧原理设计缓冲器, 可把载荷作用时间延长到毫秒量级, 峰值为 102 MPa 量级。该缓冲器(图 5)由一个高压气缸和两个活塞构成, 高压气缸内充以高压气体。通过调整高压气缸内的气体压力和活塞的质量, 调整冲击载荷的压力幅值和脉冲宽度。实验证实该缓冲器原理可行, 能用它在气炮上大体模拟发射时炸药装药受到的惯性冲击作用(图 6)。

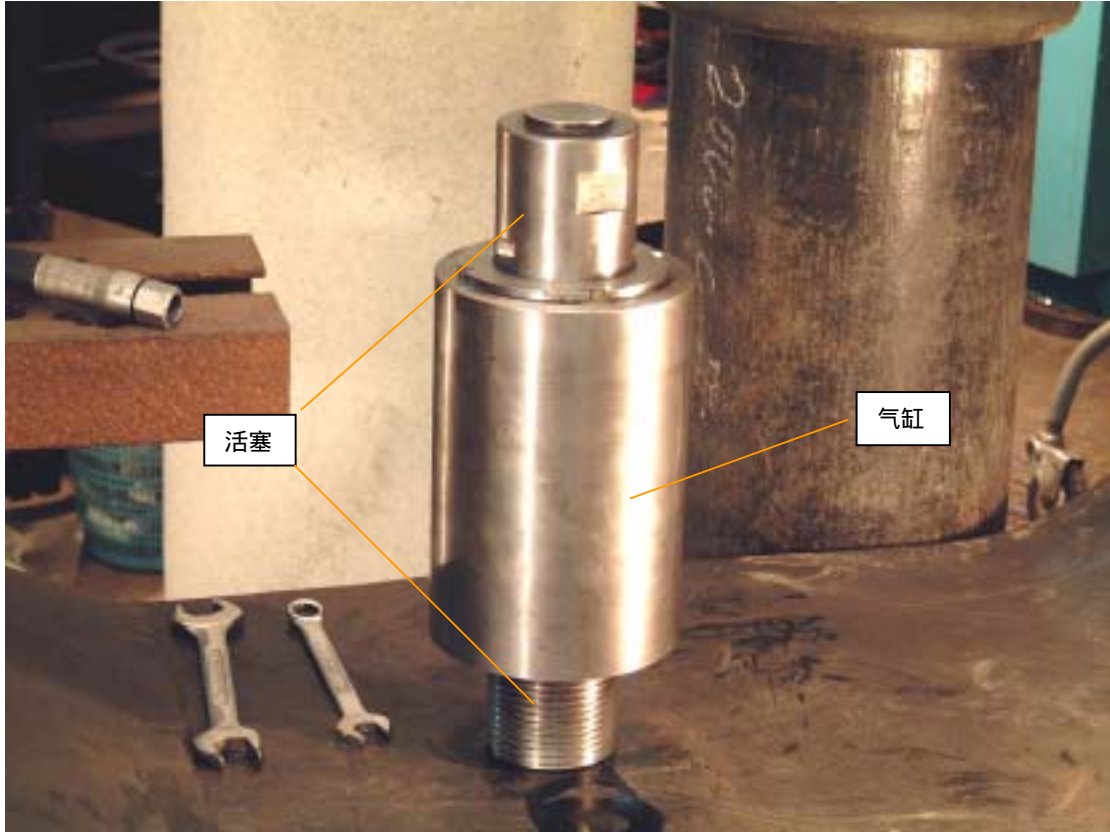


图5 高压气体缓冲器

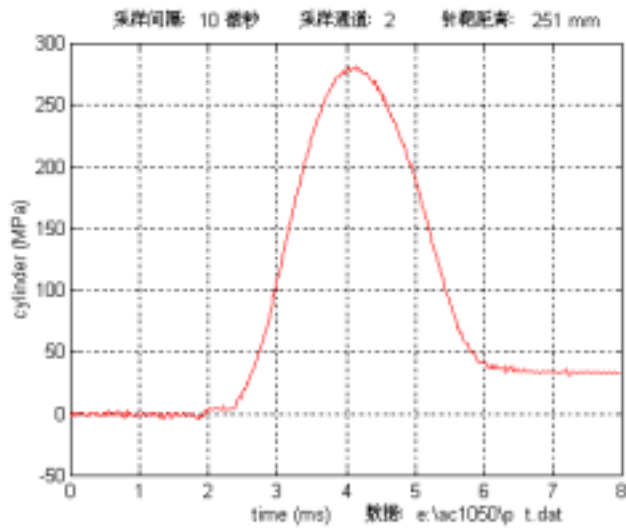


图6 有缓冲器的载荷—时间曲线

装药： $\Phi 20 \times 40$ 孔洞： $\Phi 7 \times 2.5$ 弹丸：2kg 弹速：75.9 m/s

在炮口前加装测速管，用断通探针和自动跟踪同步机测量弹丸速度，并由第二探针同步触

发 A/D 采样卡。第一、第二探针间距 170mm，同步机记时精度 $1\mu\text{s}$ 。

实验数据由 16 通道 12 位高速数据采集卡采集，采样间隔 $1\mu\text{s}$ ，有触发功能。自制数据接口和钳位斩波器，配用自动跟踪同步机和多路放大器，建立了适用的数据采集系统。

选用屈服强度高达 2GPa 的马氏纯化钢制作击杆，将其放置在气隙后端。选用长标度应变计贴在此击杆上，进行炸药试样轴向载荷的测量。贴在此击杆上的应变计可以多次重复使用。

用光电方法测量炸药试样轴向的运动。一个行程可控的光源架固定在与砧体相接的击杆上，安装在光源架上的发光二极管，照亮贴在套筒上的光电电池。撞击时光电电池的电压变化反映了套筒相对击杆的运动过程，进而反映了炸药试样轴向的运动。

实验结果

通过在这套实验系统上的实验研究，我们可以证实：

1. 对同样的装药缺陷，在约束条件不变时，冲击能量大或轴向应力大时装药易起爆。
2. 对同样的装药缺陷，改变约束条件时，使装药起爆的轴向应力或冲击能量会有显著改变。约束的刚性大，可用较小的冲击能量起爆。
3. 有气隙的装药比有孔洞的装药容易起爆，有真空孔洞的装药比有含气孔洞的装药更难起爆。

结 论

本文采取的低速气炮实验方案可行，能实现对炸药装药撞击起爆基本现象的定性、定量观测。延长载荷作用时间是用低速气炮模拟炸药装药发射安全性的技术关键。本项目采取的延长载荷作用时间的方案，技术方向正确，能模拟膛压波形。

实验结果证实，炸药装药撞击时发生了变形、剪胀、局部破坏、气体压缩等一系列力学变化；这些力学变化在一定条件下导致炸药局部爆炸。载荷与缺陷都是影响含缺陷装药撞击起爆的基本特征量。

参考文献

1. Myers, T.F., Hershkovity, J., The Effect of Base Caps on Setback-shock Simulator, Proceedings of the 7th Symposium (International) on Detonation, Naval Surface Weapons Center, NSWC MP 82-334, White Oak MD, 1981

Simulation Test System With Gas Gun

For Impact Ignition Of Explosive Charges

CHEN Li DING Yansheng

Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, P.R. China

Abstracts: In this paper, a simulation experiment system was setup with gas gun. The basic phenomena could be observed in the setup about the impact ignition of explosive charges. One of the key technologies was to prolong the loading time from order of 100 microseconds to several milliseconds. It was shown in the experiments that several mechanical processes took place for the charges in the impact duration, such as deformation, dilation, local damages of the charges and gas compression. The mechanical process could result in the local ignition of explosive under the specific conditions. It was the essential characteristics of loadings and defects for the impact ignition of explosive charges with defects.

Key Words: gas gun, explosive charge, impact ignition, defect