文章编号：1000-5773(2013)05-0763-05

小型车载式二级轻气炮加载系统的爆轰实验研究*

于　川，庞　勇，曹仁义，虞德水，孙永强，张　蓉，杨桂红，
仝延锦，施尚春，朱子标，张　旭

（中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室，四川绵阳　621900）

摘要：针对爆轰物理研究的需求，研制了一种小型车载式二级轻气炮加载系统和相应的实验测试系统。利用该系统开展了球形和柱形弹丸撞击带盖RHT-901、JOB-9003、TA01等炸药的实验，结果表明：该实验加载系统具备机动灵活和应用范围较宽的特点，可实现以较大药量炸药实验件为目标的研究。

关键词：轻气炮；弹丸；电磁感应；爆轰

中图分类号：O521.3　　**文献标识码**：A

1　引　言

轻气炮是广泛应用于冲击波物理、爆轰物理等研究领域的重要和精密的实验加载设备系统。出于安全运行和维护保养等方面的考虑，轻气炮系统一般固定放置在专门的实验室内进行使用，使得轻气炮在以较大药量的炸药件为目标的研究方面受到了严格限制[1-2]。为拓宽轻气炮在爆轰物理研究领域的应用范围，实现可针对以较大药量炸药件为目标的实验研究，中国工程物理研究院流体物理研究所设计了一种小型车载式二级轻气炮加载系统和相应的实验测试系统。

2　小型车载式二级轻气炮加载系统简介

小型车载式二级轻气炮系统主要由炮主体、车体、膨胀室、抽真空系统、轻气充注系统、手动断隔螺母连接装置、电器控制系统、勤务系统等构成。炮主体主要由发射管、高压段、泵管、药室、炮闩、架体、导轨等组成。车体主要由主架体、轮系组、调平器、刹闸系统和转向系统等组成。

该小型车载式二级轻气炮的发射管口径为25 mm，发射管长度为4.5 m，泵管长度为5.5 m，发射管轴线距地面高度为1.2 m，车体总长度为13 m，可进行整体吊装或由牵引车进行整体牵引，转弯半径为15 m。可实现在野外实验场地开展弹丸引爆炸药、破片毁伤战斗部实验件等方面的实验研究，具有机动灵活和应用范围较宽的特点。小型车载式二级轻气炮加载系统如图1所示。

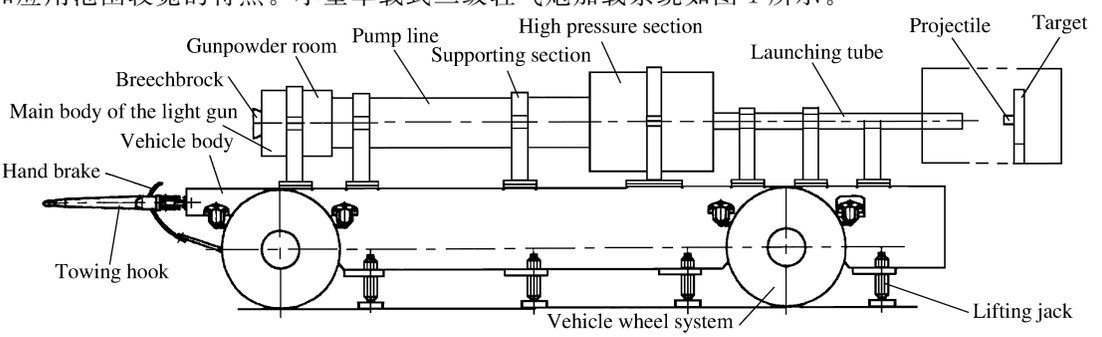


图1　小型车载式二级轻气炮示意图

Fig. 1　Schematic diagram of small vehicle-wheel two-stage light gas-gun

* **收稿日期**：2011-11-28；**修回日期**：2012-08-29

作者简介：于　川(1961—)，男，博士，研究员，主要从事爆炸力学应用研究. E-mail：yuchuan@caep.cn

3 弹丸撞击带盖炸药实验

3.1 实验布置

利用该小型车载式二级轻气炮加载系统和实验测试系统，进行了球形和柱形弹丸撞击钢靶和撞击带盖 RHT-901、JOB-9003、TA01 等炸药的实验。

为满足在野外实验场地开展爆轰实验的安全性要求，确保炸药爆炸时不损坏轻气炮系统，在轻气炮与靶标之间用沙包堆积一约 2.0 m×2.0 m×1.5 m 的防护掩体，在防护掩体内纵向埋设一根∅200 mm 的钢管，作为弹丸通过的通道。实验时，在钢管的口部再覆盖一块厚度为 6 mm、中部留有供弹丸通过的通孔的钢板。实验场地布置如图 2 所示。

图 2 中，轻气炮与靶标的瞄准通过一个能放入炮口的小型半导体激光器来实现。具体操作为：将半导体激光器放入炮口并点亮，在靶标处垂直光轴安放贴有白纸的钢板。由一人缓慢旋转半导体激光器，另一人在光斑扫过的外边沿画圆，此圆中心即是着弹点，这样可以消除半导体激光器光斑大以及其光轴与炮轴之间的偏差。

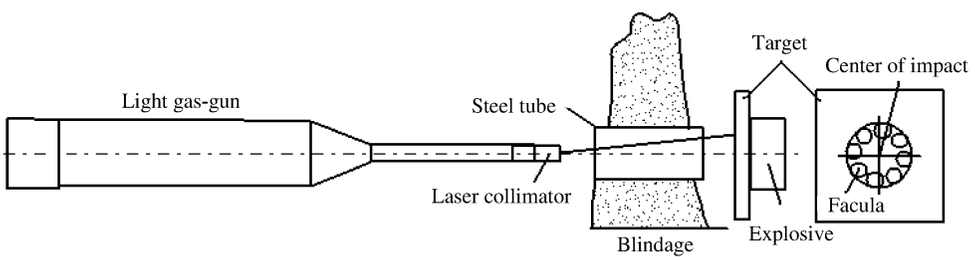


图 2 实验场地布局及校靶示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental facility and targets

3.2 弹丸

实验分别采用∅17 mm 的钢球、∅14 mm 的铝球和∅16.2 mm×12.5 mm 的钢柱弹丸。弹丸和有机玻璃弹托的照片如图 3 所示。

3.3 靶标

在 1 发∅17 mm 钢球和 1 发∅14 mm 铝球弹丸的撞击实验中，靶标采用厚度为 6 mm 的钢靶；在 4 发∅17 mm 钢球和 1 发∅16.2 mm×12.5 mm 钢柱弹丸的撞击实验中，靶标采用了带盖(钢板)的炸药药柱。带盖炸药药柱靶标照片如图 4 所示。

图 4 中，钢板材料为 45 钢，尺寸为∅300 mm×5 mm；炸药药柱分别有组分为 TNT/RDX(40/60)的 RHT-901、以 HMX 为主的 JOB-9003 和以 TATB 为主的 TA01 等 3 种炸药，尺寸均为∅100 mm×20 mm。实验时，炸药药柱紧贴于钢板背面，钢板正面垂直面向轻气炮炮口。



图 3 弹丸和有机玻璃弹托照片

Fig. 3 Projectile in PMMA sabot

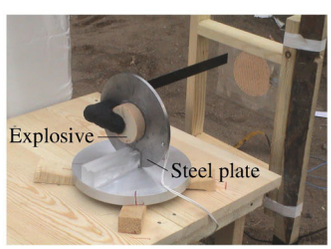


图 4 带盖炸药药柱靶标照片

Fig. 4 Target explosive with steel cover

3.4 测试系统

弹丸初速即弹丸出炮口的速度由安装在炮口处的磁感应测速装置通过两台示波器进行测量，分别

采用磁感应信号自触发和点火器信号外触发两种方式,以确保信号采集的可靠性。图 5(a)、图 5(b)为磁感应测速装置及记录系统原理示意图[3-5]。

图 5 中,两个测速段间隔 L_1 和 L_2 均为 70 mm。弹丸速度 u 由图 5(c)所示感应信号中特征点 3、8、13 处的时间间隔计算得到

$$u_1 = L_1/(t_8 - t_3) \tag{1}$$

$$u_2 = L_2/(t_{13} - t_8) \tag{2}$$

平均弹速为

$$\overline{u} = (L_1 + L_2)/(t_{13} - t_3) \tag{3}$$

弹丸着靶前的速度和撞击靶标过程采用光学高速分幅摄影相机进行测试。炸药药柱的爆炸压力采用 F4/203A 型锰铜压力传感器进行测试。

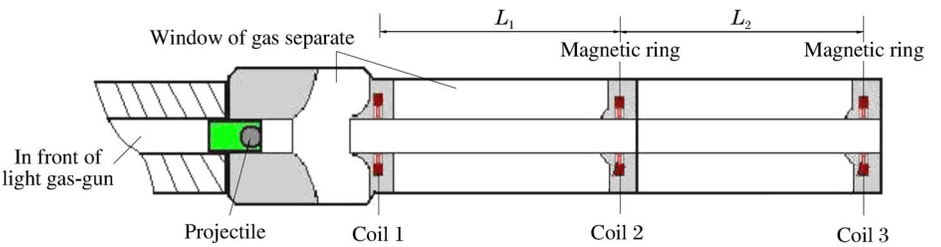


图 5(a) 磁感应测速装置剖面示意图

Fig. 5(a) Cross-section diagram of velocity measurement device with electromagnetic induction

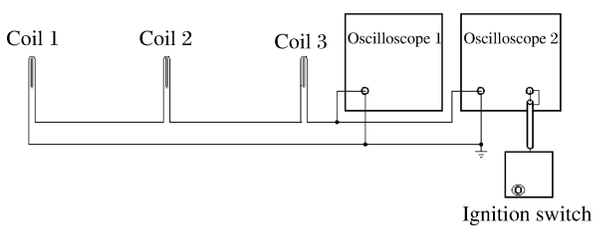


图 5(b) 电磁感应电路及记录系统

Fig. 5(b) Electric circuit system of electromagnetic induction and record system

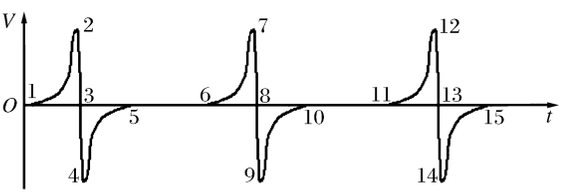


图 5(c) 电磁感应信号波形示意图

Fig. 5(c) Waveform of electromagnetic induction signal

3.5 实验结果

3.5.1 弹丸撞击带盖炸药

采用小型车载式二级轻气炮系统完成了球形、柱形弹丸撞击钢靶和撞击带盖 RHT-901、JOB-9003、TA01 等炸药的实验,实验采用硝化棉火药和氦气发射。

根据实验的录像观测及实验后拆炮分析表明,在轻气炮的发射过程中,炮体无可视觉抖动,未出现漏气现象。弹道瞄准比较理想,在钢板上穿孔的偏心均在 2 mm 以内。

图 6 为典型的磁感应测速信号示波器记录波形,实测该发实验弹丸的平均速度为 2.42 km/s。图 7 为球形弹丸撞击带盖炸药药柱实验典型的高速分幅摄影测试结果照片。可见,弹丸在撞击靶标前

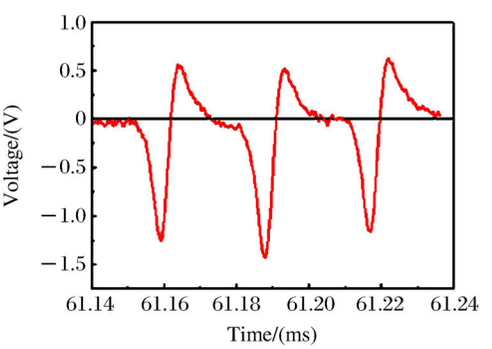
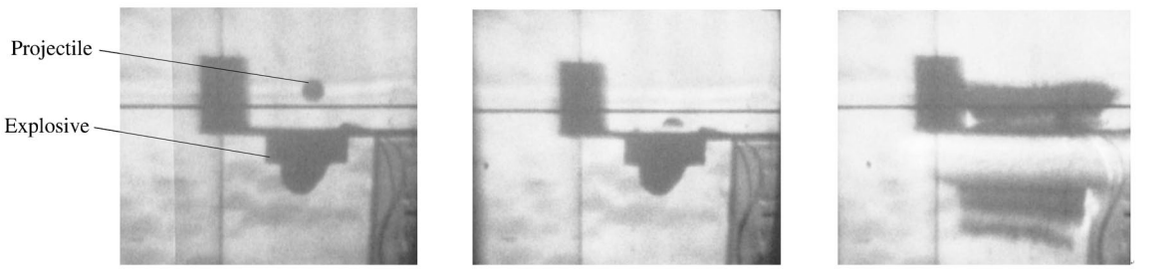


图 6 典型的磁感应测速信号示波器记录波形

Fig. 6 Typical velocity measurement signal with electromagnetic induction recorded by an oscilloscope

已与弹托分离。图 7 中炸药药柱后端的凸起部分,为采用真空封泥安装应力测试探头留下的阴影。该实验中∅17 mm 的钢球弹丸,以 2.21 km/s(实际测量值)的撞击速度引爆了带 5 mm 厚钢盖板的 RHT-901 炸药药柱。

实验参数和实验结果见表 1。由表 1 的实验结果可以看出,采用质量为 20 g(加弹托后为 27.32～27.40 g)、尺寸为∅17 mm 的钢球弹丸撞击带盖炸药,在撞击速度为 2.21～2.31 km/s 的条件下,带盖 RHT-901 炸药发生了爆轰;在撞击速度为 1.47 km/s 的条件下,带盖 JOB-9003 炸药发生了部分反应。采用质量为 20 g(加弹托后为 27.32 g)、尺寸为∅16.2 mm×12.5 mm 钢柱弹丸,以 3.00 km/s 的速度撞击带盖 TA01 炸药,TA01 炸药发生了强烈爆炸,利用 F4/203A 型锰铜压力传感器测试了 TA01 炸药药柱端面的输出压力,实测炸药输出压力为 19.6 GPa。



(a) Before impact (t=0 μs) (b) Impacting (t=12.5 μs) (c) Explosive detonating (t=31.5 μs)

图 7 磁感应测速装置剖面示意图

Fig. 7 Cross-section diagram of velocity measurement device with electromagnetic induction

表 1 实验参数和结果

Table 1 Experimental paramaters and results

No.	Kind of projectile	Size of projectile	Mass of projectile and sabot/(g)	Mass of powder /(g)	Speed of projectile/(km/s)		Target	Result
					By electromagnetics	By photography		
1	Spherical steel	∅17 mm	27.32	350	1.57	1.47	Steel plate and JOB-9003	Explosive partly Reaction
2	Spherical steel	∅17 mm	27.40	550	—	1.77	6 mm thick steel plate	Steel plate penetrated
3	Spherical steel	∅17 mm	27.32	570	2.25	2.31	Steel plate and RHT-901	Explosive detonation
4	Spherical steel	∅17 mm	27.32	600	2.42	2.21	Steel plate and RHT-901	Explosive detonation
5	Spherical steel	∅17 mm	27.32	590	2.45	2.22	Steel plate and RHT-901	Explosive detonation
6	Cylinder steel	∅16.2 mm× 12.5 mm	27.32	700	3.10	3.00	Steel plate and TA01	Explosive explosion p=19.6 GPa
7	Spherical aluminum	∅14 mm	10.10	700	3.66	—	6 mm thick steel plate	Steel plate penetrated

3.5.2 弹道曲线

在 7 发弹丸撞击实验中,硝化棉火药的装药量为 350～700 g,重弹丸(加弹托后 27.32～27.40 g)的弹丸初速为 1.57～3.10 km/s;轻弹丸(∅14 mm 铝球,加弹托后 10.10 g)的弹丸初速达到了 3.66 km/s。由实验结果

得到,小型车载式二级轻气炮的弹道曲线为

$$u = 1.30428 + 0.04989q + 1.13037 \times 10^{-4}q^2 \quad (4)$$

由实验确定的荷载因子 q 为

$$q = (0.85W_E)^{3/4}/(30M_P)^{1/4}$$

式中:u 为弹丸初速,km/s;W_E 为火药装药质量,g;M_P 为弹丸质量,g。实验弹道拟合曲线如图 8 所示。

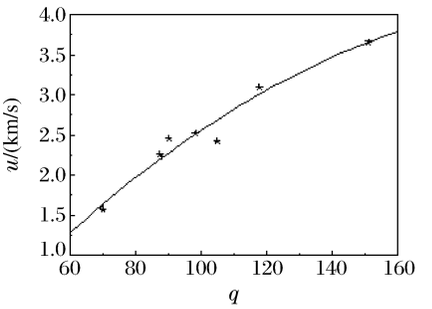


图 8　实验弹道曲线

Fig. 8　Ballistic curve

4　结　论

本小型车载式二级轻气炮系统,有别于目前通常使用的室内轻气炮。由 7 发实验结果表明:其发射能力满足在野外实验场地进行爆轰实验的要求,具备机动灵活和应用范围较宽的特点,可实现以较大药量炸药实验件为目标的炸药爆轰性能研究。

参加本项工作的还有陈鑫和、张远平、王广军、龚晏青、张光升、何智、郝建中、张志、高宁、林俊等同志,在此一并致谢!

References:

[1] Jing F Q. Introduction to Experimental Equation of State [M]. Beijing: Science Press, 1986. (in Chinese)
经福谦. 实验物态方程导引 [M]. 北京:科学出版社,1986. -

[2] Jing F Q, Chen J X. Principles and Techniques of Dynamic Pressure [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2006. (in Chinese)
经福谦,陈俊祥. 动高压原理与技术 [M]. 北京:国防工业出版社,2006.

[3] Shi S C, Chen P S, Huang Y. Velocity measurement of magnet induced system for projectile [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1991, 5(3): 205-214. (in Chinese)
施尚春,陈攀森,黄　跃. 高速弹丸的磁感应测速方法 [J]. 高压物理学报,1991,5(3):205.

[4] Wang J G. The launching technique of hypervelocity projectiles in two-stage light gas gun [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1992, 6(4): 264-272. (in Chinese)
王金贵. 二级轻气炮超高速弹丸发射技术的研究 [J]. 高压物理学报,1992,6(4):264.

[5] Barker L M, Chhabildas L C, Trucano T G, et al. Gas-accelerated plate stability study [C]//Schmidt S C, Johnson J N, Davison L W. Shock Compression of Condensed Matter-1989. Elsevier Science Publishers, 1990: 989-991.

Experimental Study on Detonation of Small Vehicle-Wheel Two-Stage Light Gas-Gun Loading System

YU Chuan, PANG Yong, CAO Ren-Yi, YU De-Shui, SUN Yong-Qiang,
ZHANG Rong, YANG Gui-Hong, TONG Yan-Jin,
SHI Shang-Chun, ZHU Zi-Biao, ZHANG Xu

(*National Key Laboratory of Shock Wave and Detonation Physics, Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang* 621900, *Chinaa*)

Abstract: Due to the requirements of detonation research, a two-stage light gas-gun system and corresponding measurement system has been designed. Using this two-stage light gas-gun system, RHT-901, JOB-9003 and TA01 explosives were impacted by a spherical and cylinder projectile through a steel plate in a series of experiments. The experimental results showed that the experimental system is easy to handle and can be widely useful in the detonation experiment.

Key words: light gas-gun; projectile; electromagnetic induction; detonation