文章编号：1000-5773(2011)01-0036-05

气炮加载下炸药强爆轰驱动技术的初步实验研究*

文尚刚，赵 锋，王 建，赵玉刚，翁继东，王 翔

（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国防科技重点实验室，四川绵阳 621900）

摘要：利用二级轻气炮进行了炸药强爆轰驱动超高速飞片技术的研究，采用多普勒探针系统(Doppler Pins System，简称 DPS)对二级飞片的速度历史进行了测量。初步获得了在较高速度(大于 5 km/s)一级飞片的作用下、二级飞片的速度增益情况，并基本掌握了强爆轰驱动技术与二级轻气炮发射技术有机结合的实验技术。初步实验结果表明，采用炸药强爆轰驱动技术可使二级飞片获得较高的速度增益。

关键词：气炮；炸药；强爆轰驱动；超高速飞片

中图分类号：O521.3 **文献标识码**：A

1 引 言

国内外一些学者采用化爆加载方式，对多级炸药强爆轰驱动技术进行了一系列研究，已取得了相当大进展[1-7]。通过几级炸药强爆轰驱动装置，结合阻抗匹配技术，所获得的超高速度金属飞片的最高速度可超过 10 km/s，由其撞击靶材料可产生几百万大气压的压力，是一种简易可行的超高压加载手段。但该技术一般使用炸药量较大，在实验中会形成大量高压爆轰产物及高速碎片，给测试及安全防护带来一些其它问题。

轻气炮是在火炮加载技术基础上发展起来的一种动高压加载装置，目前，国内二级轻气炮能稳定可靠地直接发射厚度为 2 mm 左右的金属飞片，其速度最高可达 6～7 km/s，而直接采用化爆加载方式是无法做到这一点的。

本研究是将强爆轰驱动技术与二级轻气炮发射技术有机结合，形成一种新的超高速驱动技术。采用二级轻气炮发射高速飞片作为强爆轰驱动装置的第一级飞片(又称初级飞片，速度为 6～7 km/s)，由它撞击炸药产生强爆轰，形成更高速度的二级飞片(又称次级飞片)，再结合阻抗匹配技术，从而获得在一定范围内具有较好平面度的超高速重金属末级飞片，使其速度可超过 10 km/s，在军事应用及自然科学技术基础研究等方面均有重要的意义。

这种新的加载技术有一个显著的优点，即可以使爆轰驱动装置的炸药量大大减少，所有的炸药量不会超过 10 g，与用化爆加载方式获得一级飞片的强爆轰驱动装置相比，炸药质量减小了 3～4 个数量级，从而使炸药爆轰产物及碎片对实验测试及防护带来的影响降低到最大程度。

本工作对这种新的加载技术进行了初步研究，获得了在较高速度(大于 5 km/s)一级飞片的作用下、二级飞片的速度增益情况，并基本掌握了强爆轰驱动技术与二级轻气炮发射技术有机结合的实验技术。

* **收稿日期**：2010-02-20；**修回日期**：2010-06-29

基金项目：国防科技工业基础科研项目(A1520070075)

作者简介：文尚刚(1968—)，男，博士，研究员，主要从事爆轰物理学研究. E-mail：wensg@21cn.com

2　实验装置

通过二级轻气炮驱动获得一级飞片强爆轰驱动的实验装置如图 1 所示,用二级轻气炮发射直径约 25 mm、厚度约 2.5 mm 的一级钢飞片,该飞片经过加速后撞击直径约 16 mm、厚度约 4 mm 的 JO-9159 炸药,使其发生强爆轰,并驱动相应的二级钢飞片(直径约 16 mm,厚度约 0.5 mm)达到更高的速度。为了防止强爆轰波的过高压力对二级飞片产生冲击破坏,在二级飞片前放置一层厚度约 0.5 mm 的有机玻璃缓冲层。次级炸药底面与基板上表面的距离为 8 mm,二级飞片可自由飞行的距离(即二级飞片下表面与基板上表面之间的空腔距离)约为 7 mm。共进行了 3 发实验,实验参数见表 1。

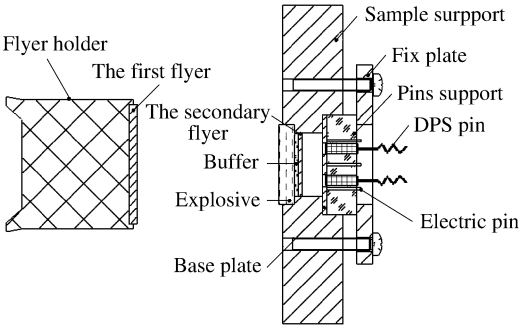


图 1　实验装置示意图

Fig. 1　Schematic of experimental set-up

一级飞片的速度采用二级轻气炮的磁测速系统进行测量,根据一级飞片飞行到靶前附近 3 个不同位置时所获得的磁感应电信号推算出飞片的速度。二级飞片的速度采用 DPS 光纤探针测速技术测量,2 根外径为 2.5 mm 的 DPS 探针分布在直径为 8 mm 的圆周上。DPS 测速系统的触发信号由二级飞片撞击铜基板后形成的冲击波到达触发探针位置时给出。

表 1　实验参数

Table 1　Parameters of experimental conditions

Exp. No.	Thickness of the first flyer /(mm)	Velocity of the first flyer /(km/s)	Thickness of explosive /(mm)	Density of explosive /(g/cm^3)	Thickness of buffer /(mm)	Thickness of the secondary flyer /(mm)
090218-01	2.52	4.97	3.99	1.863	0.51	0.47
090218-02	2.52	6.09	3.98	1.863	0.50	0.48
090508-01	2.53	5.89	4.00	1.861	0.50	0.36

3　实验结果与分析

共进行了 3 发实验,第 1 发实验(实验号为 090218-01)测得的二级飞片速度历史如图 2 所示,图中实线为 DPS 测速结果,虚线为用一维流体动力学计算编码 SSS 计算的结果,图中时间零点为冲击波到达基板下触发探针的时刻。从图 2 中可以看出,二级飞片在 0.64 μs 内加速到 7.34 km/s,此时 DPS 信号出现异常,无法得到后续的飞片飞行速度历史。此时飞片的飞行距离为 3.78 mm,离铜基板上表面的距离还有约 3.2 mm,在此阶段,二级飞片仍处于加速过程中。根据 SSS 程序计算结果,当飞片飞行 7 mm时(即飞片与铜基板碰撞时),飞片的速度为 7.83 km/s,而飞片加速到的最大速度约为 8.10 km/s,此时飞片的飞行距离为 13.6 mm。图 3 给出了二级飞片的位移变化曲线(由图 2 的速度曲线积分得到),可以看出,采用 SSS 程序计算的结果比实验结果略低,在飞片飞行 0.64 μs 时的计算结果比实验结果小 0.15 mm,表明用 SSS 程序计算的飞片速度应比实验结果略低,故飞片飞行 7 mm 时的速度应大于7.83 km/s。

第 2 发实验测得的二级飞片的速度历史与位移曲线分别如图 4 与图 5 所示。二级飞片在 0.54 μs 内加速到 8.60 km/s,实验结果与计算结果的比较表明,飞片飞行 7 mm 时的速度应大于 9.14 km/s。

图 6 为两根 DPS 探针同时记录的飞片速度历史(两根探针的中心距离为 8 mm),两条曲线形状完全相同,如果将图 6 中 DPS2 曲线向左移动 22 ns,则两条曲线完全重合,说明二级飞片在飞行过程中,其飞行姿态保持稳定。

第 3 发实验测得的二级飞片速度历史如图 7 所示。二级飞片在 0.38 μs 内加速到 8.50 km/s,实验结果与计算结果的比较表明,故飞片飞行 7 mm 时的速度应大于 9.30 km/s。

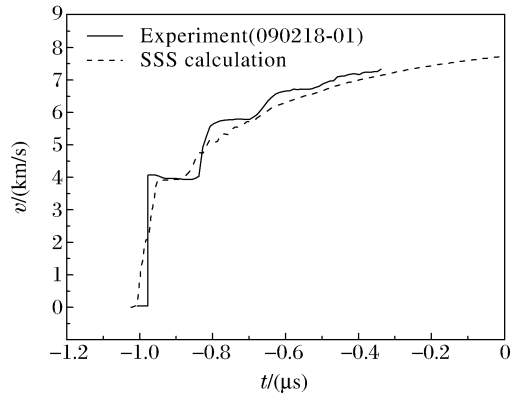


图 2 实验和数值模拟得到的二级飞片加速过程

Fig. 2 Velocity curves of the secondary flyer

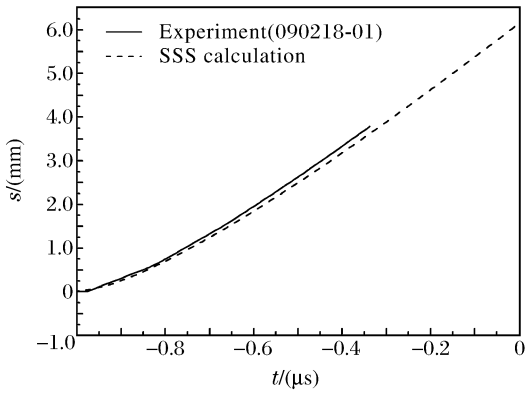


图 3 实验和数值模拟得到的二级飞片位移变化曲线

Fig. 3 Displacement curves of the secondary flyer

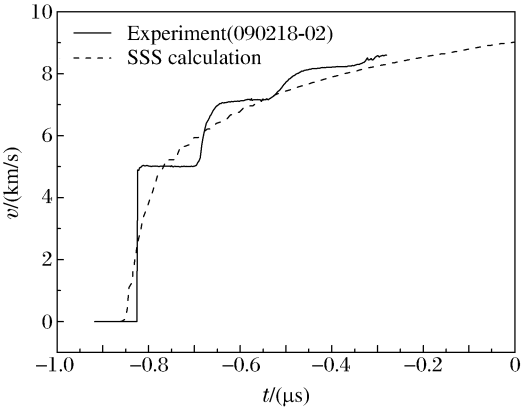


图 4 实验和数值模拟得到的二级飞片加速过程

Fig. 4 Velocity curves of the secondary flyer

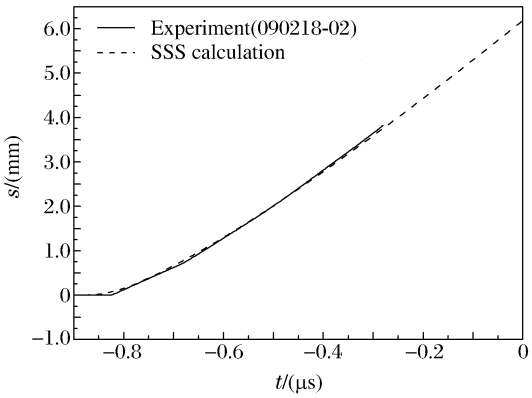


图 5 实验和数值模拟得到的二级飞片位移变化曲线

Fig. 5 Displacement curves of the secondary flyer

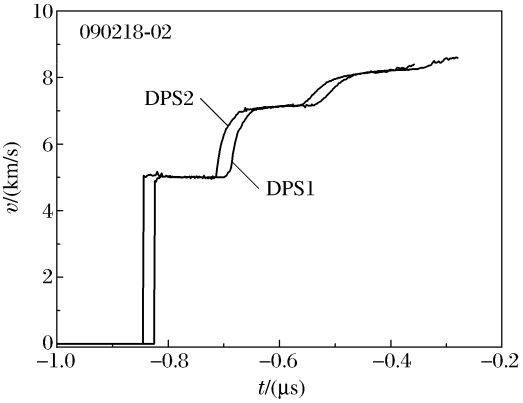


图 6 两个 DPS 探针记录的飞片速度历史

Fig. 6 The secondary flyer velocity curves recorded by two DPS pins

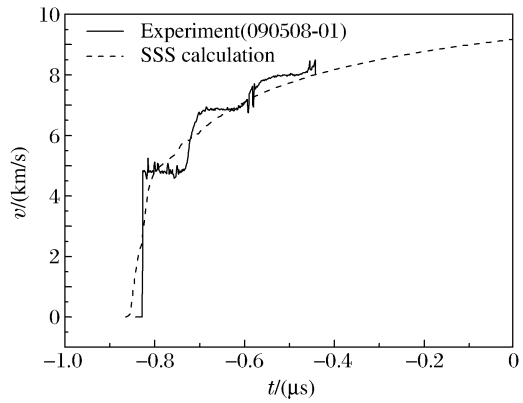


图 7 实验和数值模拟得到的二级飞片加速过程

Fig. 7 Velocity curves of the secondary flyer

对 3 发实验中二级飞片的速度增益情况进行简单整理,其结果见表 2。表 2 中分别给出了每发实验中第一个 DPS 探针记录的有效速度(信号中断前数据),数值模拟计算出的飞片在飞行 7 mm 时的速度,以及它们与一级飞片速度相比的速度增益情况。可见,在 DPS 系统能记录的距离内,二级飞片的速

度增益均超过 40%,而数值模拟给出二级飞片飞行 7 mm 时的速度增益均超过 50%。由前面的分析表明,数值模拟计算的结果比实验结果略低,故二级飞片飞行 7 mm 时的速度增益均应超过 50%,表明使用炸药强爆轰驱动可以使二级飞片的速度获得较大的增益。

表 2　二级飞片速度增益情况

Table 2　The velocity increment of the secondary flyer

Exp. No.	Velocity of the first flyer /(km/s)	Results recorded by DPS pins			Calculation results		
		Flyer velocity /(km/s)	Distance /(mm)	Velocity increment	Flyer velocity /(km/s)	Distance /(mm)	Velocity increment
090218-01	4.97	7.34	3.78	48%	7.83	7.00	58%
090218-02	6.09	8.60	3.82	41%	9.14	7.00	50%
090508-01	5.89	8.50	2.58	44%	9.30	7.00	58%

从上述 3 发实验 DPS 探针记录的结果可以看出,二级飞片在飞行较短的距离后,DPS 信号即开始出现异常,从而无法记录后续的飞片速度历程。经过分析,初步判断 DPS 信号出现异常的主要原因是,炸药强爆轰后所形成的高压爆轰产物从飞片与套筒之间的间隙(该间隙是配合间隙,是由加工精度决定的,一般为 0.05 mm 左右)喷出,爆轰产物发出的强光严重干扰了 DPS 系统对正常信号的记录。此外,在强冲击波的作用下,飞片下表面有可能发光,以及出现较严重的微喷射现象,这些均有可能对 DPS 测试产生一定的影响。

4　结　论

通过实验研究初步获得如下结论:

(1) 基本实现了二级轻气炮高速发射技术与炸药强爆轰驱动技术的有机结合,并实现了二级飞片速度与平面性的同时测量;

(2) 获得的二级飞片速度具有较高的速度增益,在飞行 3 mm 左右时的速度增益超过 40%(实测结果),在飞行 7 mm 时的速度增益超过 50%(计算结果);

(3) 飞散的爆轰产物对二级飞片的速度及平面性的测量均有较大程度的影响,如何有效减小爆轰产物对测试结果的影响将是下一步研究的重点内容。

感谢陈宏、何智、王珺以及流体物理研究所二级轻气炮电子学测试组与运行组在实验中所提供的帮助。

References:

[1] Batkov Y V, Kovalev N P, Kovtun A D, et al. Explosive Three-Stage Launcher to Accelerate Metal Plates to Velocities More Than 10 km/s [J]. Int J Impact Eng, 1997, 20(1-5): 89-92.

[2] Geille A. Status of Development of Space-Debris Hypervelocity Explosive Multi-Stage Launcher [J]. Int J Impact Eng, 1997, 20(1-5): 271-279.

[3] Chhadildas L C, Kmetyk L N. An Impact Technique to Accelerate Flyer Plate to Velocities over 12 km/s [J]. Int J Impact Eng, 1995, 17: 183-194.

[4] Wen S G, Sun C W, Zhao F. Multi-Stage Detonation System－A New Loading Technology for Studying Hypervelocity Impact [J]. Chinese Journal of High Pressure Physic, 2000, 14(1): 22-27. (in Chinese)
文尚刚, 孙承纬, 赵　锋. 多级爆轰驱动——研究超高速碰撞的一种新的加载技术 [J]. 高压物理学报, 2000, 14(1): 22-27.

[5] Zhao F, Sun C W, Wen S G, et al. Researches on Strong Detonation of High Explosives [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2000, 14(1): 47-53. (in Chinese)
赵 锋, 孙承纬, 文尚刚, 等. 炸药强爆轰的研究 [J]. 高压物理学报, 2000, 14(1): 47-53.

[6] Zhao F, Wen S G, Sun C W, et al. Experimental Studies on Multiple-Stage Flyer [J]. Explosion and Shock Waves, 2001, 21(1): 13-16. (in Chinese)
赵 锋, 文尚刚, 孙承纬, 等. 多级串联式超高速飞片装置实验研究 [J]. 爆炸与冲击, 2001, 21(1): 13-16.

[7] Wen S G, Zhao F, Sun C W, et al. Experimental Study on Hypervelocity Flyer Driven by Strong Detonation at Low Vacuum Condition [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2004, 18(4): 315-318. (in Chinese)
文尚刚, 赵 锋, 孙承纬, 等. 低真空条件下炸药强爆轰驱动超高速飞片实验研究 [J]. 高压物理学报, 2004, 18(4): 315-318.

Primary Experimental Study on Driving Technique of Strong Detonation Using Gas Gun

WEN Shang-Gang, ZHAO Feng, WANG Jian, ZHAO Yu-Gang,
WENG Ji-Dong, WANG Xiang

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

Abstract: Using the loading technique of two-stage gas gun and the doppler pin system, the driving technique of strong detonation is studied. The velocity increment of the secondary flyer is obtained when the velocities of the first flyer surpass 5 km/s. The loading technique of two-stage gas gun and the driving technique of strong detonation are combined very well. The primary experimental results show that the velocity increment of the secondary flyer is considerably large if the two techniques are combined together.

Key words: gas gun; explosive; strong detonation driving; hypervelocity flyer