

文章编号: 1000-5773(2004)01-0094-03

二级轻气炮发射过程中前冲气体的初步研究*

王 为, 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实验室, 四川绵阳 621900)

摘要:在二级轻气炮发射过程中,靶室内的残存气体和绕行到弹丸前方的推进气体都有可能对实验结果造成影响。利用石英传感器测量并得到了二级轻气炮高速弹丸发射时前冲气体的压力信号,并计算得到了相应的压力。实验结果表明:二级轻气炮发射时确实存在前冲气体现象,但其压力幅值较小,约为 10^{-2} GPa 量级,不会对高压物理实验的结果造成明显的影响。

关键词:二级轻气炮;前冲气体;石英传感器;测量技术

中图分类号: O521.3 **文献标识码:** A

1 引 言

二级轻气炮是目前冲击动力学领域在材料中获得超高压力的标准加载装置之一,利用它可以在材料中获得百万大气压以上的压力,因此在高速碰撞、材料的高压状态方程实验研究等领域都具有广泛的应用^[1,2]。

在利用二级轻气炮进行动高压加载实验研究中,人们发现当高速弹丸尚未到达靶面时,布置在靶中的传感器(如电探针)就已经有响应信号了。这一提前到达的信号有可能影响测试信号的有效性和精度,甚至可能导致实验失败。在一般的二级炮加载实验中,人们往往忽略这一现象,但对于精度要求很高的精密物理实验来说,这一现象有可能对测试结果造成影响,同样的现象在化爆加载实验中也时有发生^[3,4]。

通过分析发现,造成这一现象的主要原因是:靶室内存在的残留气体以及绕流到弹丸前面的推进气体,在高速飞片的压缩过程中对靶施加一个压力载荷。在二级轻气炮的发射过程中,由于靶样品距离发射管口的距离较长,当弹丸由发射管射出时,由于推动它的高速气体(氢气)的速度比弹丸更高,将有足够的时间绕行到弹丸的前端,并被高速弹丸压缩,形成脱体压缩波作用于靶装置。在实验中,这一因素可能是造成前冲气体的主要原因。

A. C. Mitchell^[5]对美国 Livermore 实验室的二级轻气炮系统进行了测量。在靶室真空 0.667 Pa、弹丸速度 7 km/s 条件下,弹丸前端的前冲气体在石英靶中产生的压力幅度约 0.04 GPa。在国内,虽然二级轻气炮技术获得了广泛的应用,但在一般的实验过程中都忽略了前冲气体的因素,对这一现象的研究很少。孙珠妹等^[6]曾利用分流系统来降低前冲气体对靶的影响,但并没有对前冲气体的压力进行具体的实验测量。

通过对二级轻气炮系统的实验装置和发射过程的分析,前冲气体现象是很可能存在的,而且它有可能对实验结果产生影响,对这一现象的研究是十分必要的。我们利用石英传感器对二级轻气炮发射过程中可能存在的前冲气体现象进行了实验测量,得到了高速弹丸发射时前冲气体的压力剖面,并得到了相应的压力。

* 收稿日期: 2003-06-02; 修回日期: 2003-09-05

作者简介: 王 为(1973—),女,助理工程师。

2 实验装置及实验内容

实验靶装置如图 1 所示。实验采用 x -切石英晶体,尺寸为 $\varnothing 10 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$,表面金膜电阻小于 0.2Ω ,正极尺寸为 $\varnothing 5 \text{ mm}$ 。石英传感器用于测量靶面处的压力变化过程。同时,为了观察前冲气体对电探针的影响,实验中还在靶板上安装有电探针,如图 1 所示。其中,4 根电离光杆电探针均布于靶面,网络电压为 100 V ,目的在于观察飞片前冲气体的影响;靶板后面在 $\varnothing 18 \text{ mm}$ 圆周上均布 8 根弹簧电探针,网络电压为 100 V ,目的是测量飞片撞击靶板的时刻和碰撞角。实验是在流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室的 $\varnothing 25 \text{ mm}$ 口径二级轻气炮上完成的。

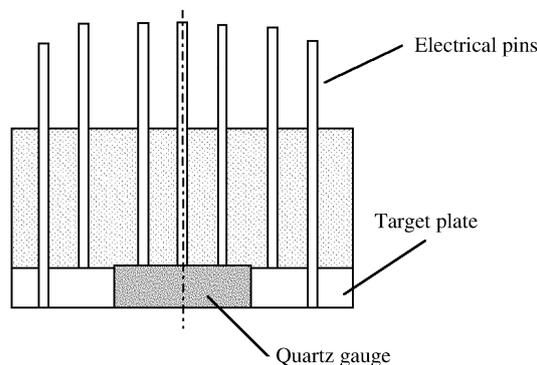


图 1 实验装置

Fig. 1 Set up of experiments

3 实验结果与分析

实验中,靶室真空度为 170 Pa ,为保护示波器,设计了限流保护电路,当信号超过 10 V 时将被截止。弹丸速度利用磁测速方法得到,实测弹丸速度为 6.309 km/s 。

图 2 为石英传感器测得的靶面处的压力信号,由图中可以看出:在实验的起始阶段存在一个从零开始缓慢增加的压力信号,经过一段时间的上升,达到稳定的压力平台,其幅度约 100 mV ,平台保持一段时间后是突然起跳的幅度很大的压电信号,随后上下振荡。由于石英晶体的压力响应时间约 $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{ s}$ ^[7],前面这个缓慢的上升前沿不可能是飞片击靶时刻,后面的信号才是飞片击靶信号,而前面的这个压力信号就是由前冲气体造成的。当飞片逐渐接近靶面时,逐步压缩靶前的气体,靶面处的压力逐渐升高直到一个稳定的压力平台。

此外,可从靶板后电探针测量的冲击波到达时间推算出飞片撞击靶板的时刻,其与石英计信号后面的大幅度的起跳信号的时刻一致,进一步证明了上述分析。从靶面的光杆电探针信号也观察到,在飞片撞击靶板之前已经电离产生放电波形,我们认为这正是弹丸压缩前面的气体形成脱体压缩波使气体电离的结果。

由石英传感器测得的压力信号幅度,我们可由下式得到前冲气体的压力^[2,7]

$$\sigma_0 = \frac{Li}{kAu_s} \quad 0 < t < \frac{L}{u_s}$$

式中: L 是传感器的厚度; i 是短路电流; k 是 x 轴切割石英的压电系数; A 是石英计的有效面积,这里约 20 mm^2 ; u_s 为石英的应力波速,为 5.728 km/s ^[5]。这里,石英的压电系数为: $(2.011 + 0.0107\sigma) \times 10^{-7} \text{ C}/(\text{cm}^2 \cdot \text{GPa})$;回路负载为 50Ω 。计算得到图 2 中测量得到的前冲气体的压力幅度约为 0.018 GPa 。

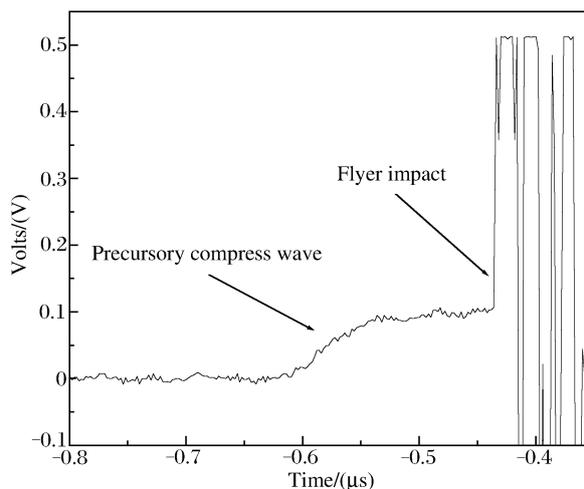


图 2 石英计信号

Fig. 2 Primary signal of quartz gauges in experiments

4 讨 论

通过上面的实验可以看出:二级轻气炮发射时前冲气体现象是确实存在的。测得的前冲气体压力与 A. C. Mitchell^[5]的结果基本是一致的,均为 10^{-2} GPa 量级。由于其压力幅值比飞片击靶压力至少低 3 个量级以上,因此不会对冲击波后的状态参数造成明显的影响,但是在传感器选型和布局时,要考虑前冲气体的影响,采取防护和分流措施,以得到真实的信号。

References:

- [1] Wang J G. The Technology of Light Gas Gun [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000. (in Chinese)
王金贵. 气体炮技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [2] Jing F Q. Introduction to Experimental Equation of State (2nd ed) [M]. Beijing: Science Press, 1999, 169. (in Chinese)
经福谦. 实验物态方程导引(第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 1999, 169.
- [3] Tang J Y, Wu S Z, Wang F H, et al. The Effect of Shock-Heated Dense Helium and Argon on Pin Shortening [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2000, 14(4): 285. (in Chinese)
唐敬友等, 冲击波加热的氦气与氩气对电探针导通的影响 [J]. 高压物理学报, 2000, 14(4): 285.
- [4] Tang J Y. A Study on the Optimization for the Protective Atmosphere of Pins in Hydrodynam [J]. Experiments and Measurements in Fluid Mechanics, 2003, 17(1): 28. (in Chinese)
唐敬友. 电探针保护气体优选原则 [J]. 流体力学实验与测量, 2003, 17(1): 28.
- [5] Mitchell A C, Nellis W J. Diagnostic System of the Lawrence Livermore National Laboratory Two-Stage Light Gas Gun [J]. Rev Sci Instrum, 1981, 52(3): 347.
- [6] Sun Z M, Hu D, Shi S C, et al. The Response of PVF2 on High Velocity Gas-Fluid-Observations of the Behaviour of Diffusion System for a Two Stage Light Gas Gun [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1991, 5(3): 233. (in Chinese)
孙珠妹, 胡 栋, 施尚春, 等. 聚偏氟乙烯对高速气流的响应 [J]. 高压物理学报, 1991, 5(3): 233.
- [7] Sun C W, Wei Y Z, Zhou Z K. Applied Detonation Physics [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000, 185. (in Chinese)
孙承纬, 卫玉章, 周之奎. 应用爆轰物理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000, 185.

Measurement of the Precursor Gas Accompanied with the Launch of Two-Stage Gas Gun

WANG Wei, WANG Xiang

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

Abstract: During the launch of hypervelocity projectile in the two-stage light gas gun, the remanent gas in target chamber and the pushing gas that leaks through the projectile might disturb the physical measurement of target sample. In this paper quartz gauges were used to detect whether the influence of such gases is in existence and how much it is. Our results show that the precursor gas exists indeed accompanied with the shoot of two-stage light gas gun, but its pressure is only about 10^{-2} GPa in amplitude and could not produce obvious influence to the usual high pressure experiments.

Key words: two-stage light gas gun; precursor gas; quartz gauge; technique of measurement