

文章编号: 1000-5773(2006)04-0445-04

二级轻气炮压缩级发射技术研究*

吴 静, 蓝 强, 王青松, 鲜海峰, 贾路峰, 傅秋卫

(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 $\varnothing 25$ mm 二级轻气炮上进行了火药室与泵管之间有、无大膜片的实验研究, 观察在相同装填参数下这两种发射的弹道差异。理论计算和实验结果表明, 火药室和泵管之间有、无大膜片对弹道性能没有明显的影响。

关键词: 二级轻气炮; 内弹道; 膜片

中图分类号: O521.3 **文献标识码:** A

1 引 言

二级轻气炮是一种实验室动高压设备。图 1 是二级轻气炮的原理示意图^[1]。它由火药室、泵管、高压段、发射管等部分组成。其基本原理是利用火药气体推动活塞, 通过活塞压缩泵管内的轻质气体, 达到一定压力值时, 高压段与发射管之间的膜片破裂, 高压气体驱动弹丸高速运动。

国内外二级轻气炮结构基本相似。但在国内包括中国工程物理研究院、四川大学、CARD C 等单位的二级轻气炮的火药室和活塞之间都设有一个大膜片(如图 1 所示)。而美国如劳伦斯-利弗莫尔实验室^[2](LLNL)的二级轻气炮(见图 2), 以及由内华达实验场、利弗莫尔国家实验室(LLNL)、洛斯阿拉莫斯国家实验室(LANL)和圣地亚国家实验室(SNL)联合实验组织设计的、用于进行 Pu 材料以及其它核材料状态方程实验的 JASPER^[3]二级轻气炮(见图 3)却没有这道膜片。JASPER 二级轻气炮可将弹丸发射到 7.6 km/s, 中国工程物理研究院的二级轻气炮也已经将相同质量的弹丸发射到 7.5 km/s, 与 JASPER 炮的性能大体相当。但由于在火药室和活塞之间多了一道膜片, 相对的结构设计就复杂一些。

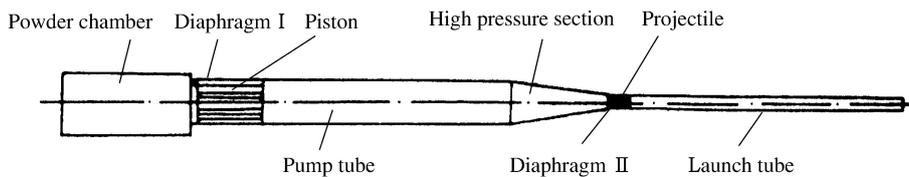


图 1 二级轻气炮的结构简图

Fig. 1 A schematic diagram of a two-stage light gas gun

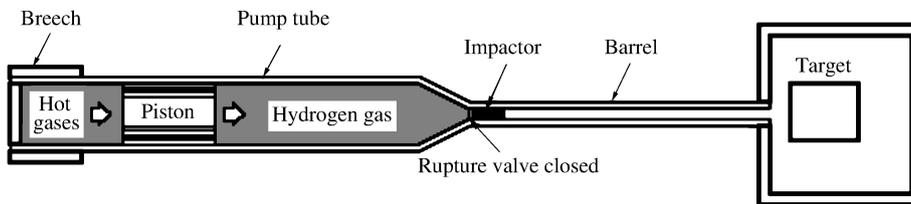


图 2 LLNL 实验室二级轻气炮示意图

Fig. 2 A schematic diagram of a two-stage light gas gun in LLNL laboratory

* 收稿日期: 2005-01-25; 修回日期: 2005-07-11

作者简介: 吴 静(1977—), 女, 助理研究员, 主要从事动态加载技术研究. E-mail: wujing102ok@163.com

假设没有这道膜片,结构上火药室和泵管就合为一体。其优势如下:

(1) 结构设计简单,不用考虑火药室和泵管之间采用什么样的连接结构及其强度、操作问题。

(2) 考虑到二级轻气炮运行安全,在整个工作过程中必须具有极好的密封性,在活动密封部位都采用液压夹紧螺母技术,真空密封都有两层密封圈。去掉膜片后,就可省去连接部位的密封结构,减少一个安全隐患。

(3) 炮体各部分的连接或解脱都是由液压系统驱动的,火药室和泵管合为一体后,可减少一个液压系统部件,使其更易控制操作。

(4) 炮的保养问题。火药室和泵管部分在发射后有火药生成物混合的黑色液体产生,要分别擦拭。合为一体后,可节省擦拭时间,提高工作效率。

因此,在二级轻气炮上进行火药室与泵管之间无大膜片的实验研究具有一定的意义。与有膜片实验在相同装填参数下的弹道进行比较,可为火药室与泵管之间的无膜片设计提供实验依据。

2 理论分析和技术路线

二级轻气炮由压缩级和发射级组成。第一级里的储能气体推动活塞压缩第二级里的轻质气体,第二级里的轻质气体再加速弹丸。通常用火药燃烧气体作为第一级的驱动气体,即二级轻气炮第一级相当于火炮,而火药室和活塞之间的膜片破裂压力相当于火炮中弹丸的挤进压力。挤进压力可以提高火药着火的效能,即在弹丸还没有运动之前,可以保证火药表面能够全面着火燃烧。这样就减少了火药燃烧不一致性所产生的初速散布,同时也提高了一些火药能量的利用^[4]。

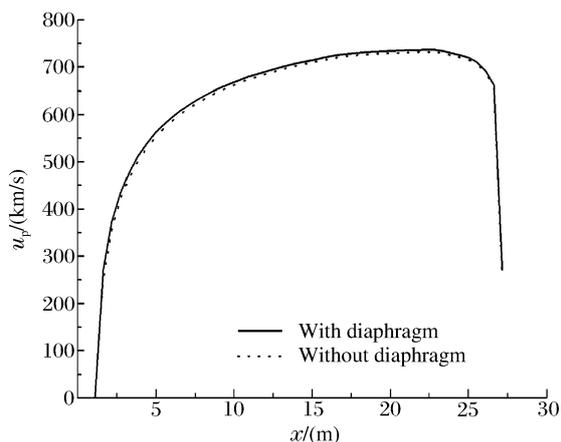


图 4 活塞速度 u_p 随位置 x 变化曲线

Fig. 4 The curve of u_p-x

另外,为了给火药室与泵管无膜片实验提供指导,借助中国工程物理研究院 $\varnothing 35$ mm 和 $\varnothing 37$ mm 二级轻气炮的大量实验数据,对该炮有、无大膜片的弹道进行了计算。图 5(a)是将 $\varnothing 35$ mm 口径二级轻气炮的实测弹速与计算弹速在高弹速的范围内进行的比较,图 5(b)是 $\varnothing 37$ mm 口径二级轻气炮在不

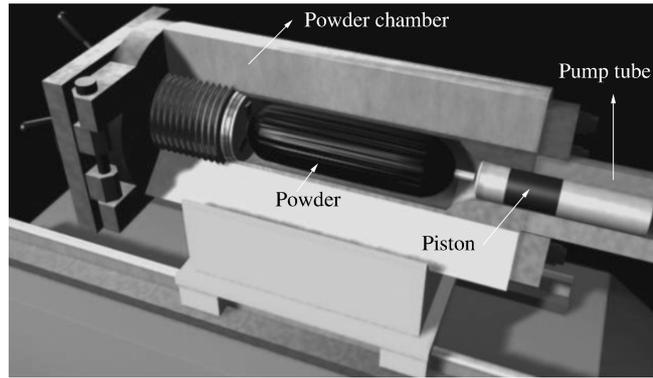


图 3 JASPER 二级轻气炮的火药室示意图

Fig. 3 The powder chamber of the JASPER two-stage light gas gun

虽然火药室和活塞之间的膜片破裂压力可以控制火药在定容状态下的燃烧时间和活塞的初始起动时间,并影响火药室内最大峰值,但它对于活塞速度的影响甚微^[5]。图 4 是中国工程物理研究院流体物理研究所 $\varnothing 35$ mm 口径二级轻气炮有、无大膜片的弹道计算曲线,其结果也说明了这一点。之所以有这种现象,可能是活塞的最大静摩擦力提供了活塞的起动压力。

由于降低膜片的破裂压力可使活塞早一些起动,使药室内火药燃烧过程放慢,有利于活塞对轻质气体的等熵压缩,因此,它的破裂压力较低。又因为该膜片是泵管的真空密封件,没有它的良好隔离,泵管不能进入真空环境,初始注入的轻气无法保持纯净的气体性质。所以它的作用更突出的表现在高压密封上,而不是控制活塞起动时间上^[1,6]。

同弹速范围内的实测弹速与计算弹速的比较。纵坐标 u 为弹速,横坐标 n 为实验次数。图中实心点是有大膜片(破膜压力为 25 MPa)的情况下的实验点,空心点是在相同装填条件下无大膜片的计算值。

由图 5 可见,无膜片的计算弹速与有膜片的实测弹速相差不大。 $\varnothing 35$ mm 口径二级轻气炮在高弹速段两者之差在 6.6% 以内; $\varnothing 37$ mm 口径二级轻气炮在不同弹速范围内(除 17 和 18 点以外)两者之差小于 9%。可见,火药室与泵管之间的膜片对二级轻气炮的弹道性能影响不大。本工作的目的是通过实验来验证这一结论是否成立。

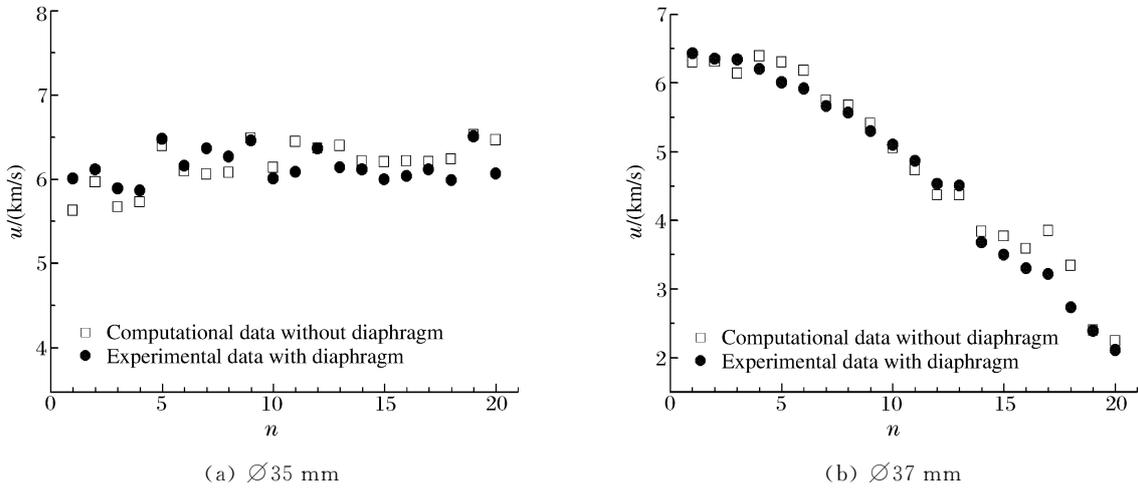


图 5 $\varnothing 35$ mm 和 $\varnothing 37$ mm 二级轻气炮实测弹速与计算弹速的比较
Fig. 5 Comparison of the results between experiment and computation

实验是在中国工程物理研究院流体物理研究所 $\varnothing 25$ mm 口径二级轻气炮上进行的。二级轻气炮运行良好,实验装置、测试方法等皆采用成熟的技术。

为了形成无大膜片的条件,实验时,将大膜片加工成环形,使其内圆直径略小于活塞直径。为了实现密封,在活塞底部尾翼圆周上涂上密封油脂。另外,为了防止泵管在抽真空的过程中活塞向泵管方向运动,实验前一般将过盈的活塞冷冻 24 h 后再装入泵管,利用活塞与泵管之间的过盈静摩擦力来实现制动。实验表明,这种措施是有效的。

3 实验结果与分析

在 $\varnothing 25$ mm 口径二级轻气炮上进行了 8 发实验。为了在相同的装填条件下进行对比,每个速度点做两发实验。其中一发装有大膜片,另一发不装大膜片。选择的速度点范围也比较宽,从 3.9 km/s 到 6.7 km/s。图 6 给出了有大膜片和无大膜片的实验弹道对比结果。图中横坐标为火药量 W_c ,纵坐标为弹丸速度 u ,其中实心点是有大膜片情况下的实验点(破膜压力为 25 MPa),空心点是在相同装填条件下无大膜片的实验值。具体的实验装填参数和实验结果如表 1 所示。

由图 6 可见,在相同装填条件下,有大膜片和无大膜片相对应的两个实验点符合程度相当好。除 4.6 km/s 这点以外,其余对应数据点几乎重合在一起。从表 1 中也可看出,除序号 2 外,有大膜片和无大膜片的相对误差不大于 0.4%,而序号 2 也仅为 3.1%。

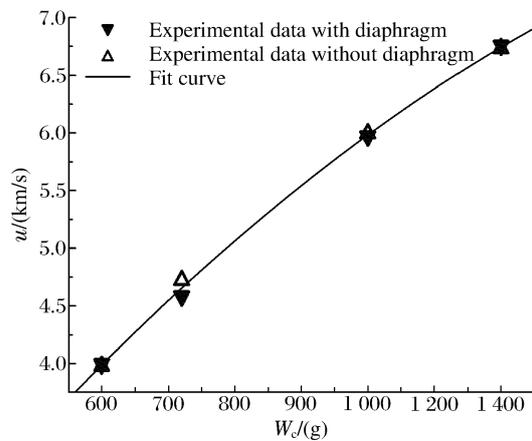


图 6 有大膜片与无大膜片的实验弹道比较
Fig. 6 Comparison of the experimental ballistics with diaphragm and diaphragmless

表 1 实验结果的比较

Table 1 Comparison of the experimental results

No.	Powder mass /(kg)	Projectile velocity with diaphragm /(km/s)	Projectile velocity without diaphragm /(km/s)	Error /(%)
1	0.60	3.995	3.979	0.4
2	0.72	4.581	4.721	3.1
3	1.00	5.969	5.995	0.4
4	1.20	6.753	6.730	0.3

由此可见,火药室和泵管之间有、无大膜片对二级轻气炮的弹道性能影响不大。得到的实验结果为火药室与泵管之间的无膜片设计提供了实验依据。

4 结 论

在二级轻气炮上进行了火药室与泵管之间有、无大膜片的实验。比较在相同装填参数下这两种发射的弹道差异。理论计算和实验结果表明,火药室和泵管之间有、无大膜片对二级轻气炮的弹道性能影响不大,为火药室与泵管之间的无膜片设计提供了实验依据。

References:

- [1] Wang J G, Principle and Technology of Gas Gun [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001: 58-59. (in Chinese)
王金贵. 气体炮原理及技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001: 58-59.
- [2] Holmes N. "Shocking" Gas-Gun Experiments [J]. Science & Technology Review, 2000, (9): 13-15.
- [3] Konrad C H, Miller J, Cowan M, et al. Joint Actinide Shock Physics Experimental Research (JASPER) Facility Update [A]. // 54th Meeting of the Aeroballistic Range Association Santa Fe [C]. New Mexico, USA, 2003: 1-7.
- [4] 801 Laboratory. Interior Ballistics [M]. Nanjing: East China Institute of Technology Press, 1986: 81-82. (in Chinese)
八〇一研究室. 内弹道学 [M]. 南京: 华东工学院出版社, 1986: 81-82.
- [5] Lezaud J M. Etude et Realisation D'un Canon a Gaz Leger a Deux Etages [R]. Rapport CEA-R-4762, 1977.
- [6] 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): 264-272.

Study on Compression Stage in Two-Stage Light Gas Gun

WU Jing, LAN Qiang, WANG Qing-Song, XIAN Hai-Feng,
JIA Lu-Feng, FU Qiu-Wei

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

Abstract: Experiment was done to study on the effect of big diaphragm between powder chamber and pump tube in two-stage light gas gun with diameter of 25 mm. The differences of interior ballistics with diaphragm and diaphragmless are observed at the same filling parameters. Theoretical calculation and experimental result indicate that the effect of big diaphragm on interior ballistics is not evident.

Key words: two-stage light gas gun; interior ballistics; diaphragm