

文章编号: 1006-9941(2011)01-0060-05

长药室装药中多点点火技术试验研究

季晓松^{1,2}, 王浩¹, 冯国增^{1,3}

(1. 南京理工大学动力工程学院, 江苏 南京 210094; 2. 炮兵学院南京分院, 江苏 南京 211132; 3. 江苏科技大学船舶与海洋工程学院, 江苏 镇江 212003)

摘要:为解决大口径火炮长药室装药轴向点传火问题,针对药室长度超过 3 m 的长药室装药,设计了多点点火系统,进行了多点点火研究。运用高速摄像研究了点火头的发火一致性,结果表明,C 型点火头 4 ms 内全部点燃,发火一致性高于 A 型和 B 型;测量了不同长度的多点点火管的压力-时间曲线,结果表明,两节和四节模拟装置试验 $p-t$ 曲线基本重叠,时间近乎同步,破膜前,压力曲线上上升一致,时间差小,同时点火同步性好。试验验证了长药室装药中多点点火技术的可行性和可靠性。

关键词: 内弹道学; 装药; 长药室; 多点点火**中图分类号:** TJ55; TJ41**文献标识码:** A**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.01.014

1 引言

为了获得良好而稳定的内弹道性能,要求点火系统必须具有足够的能量流率,点火作用后在单位时间内产生足够数量的高温气体和固体颗粒,迅速到达发射药表面保证发射火药迅速全面点燃。尽量抑制点火气流使火药床颗粒局部堆积的现象,形成均匀的点火条件和起始燃烧条件,保持弹道性能的稳定。研究点火、传火过程及其规律一直是内弹道领域的研究热点,国内研究人员在这方面开展了大量的工作,包括火焰在药床和传火管中的传播规律研究、新型的点传火系统^[1-3]等,这些研究大多集中于单一点的点火源,不涉及多点点火问题。多点点火是解决大口径火炮长药室装药轴向点传火问题的有效技术途径之一。在长药室装药中,多点点火技术可以明显提高装药燃烧的同步性和均匀性,较好地解决点传火的问题。对于多点点火问题的研究,一般将激光作为点火源,但由于受到激光光源的限制,所以目前该技术还处于实验室阶段^[4-6]。用火头实现多点点火的试验也有报道,但是其火炮射击试验时得到的多点点火管压力-时间曲线不如普

通点火管^[7]。针对药室长度超过 3 m 的某大口径平衡炮的点传火问题,本课题组设计了多点点火管,进行了多点点火试验。通过试验结果分析了该长药室装药中多点点传火的可行性和可靠性,目前该多点点火系统已经通过火炮射击鉴定验收试验。

2 多点点火头试验

2.1 点火头的一致性试验

点火头发火的一致性是实现多点点火的关键,因此首先开展点火头的点火一致性试验。

多点点传火试验的好坏与点火头的选取有着密切的联系。并联电路中各个点火头,在同一电压下点燃,电流几乎是在同一时刻到达点火头的,因而检验点火头的点火一致性是多点点传火试验的一个重要环节。点火头种类很多,我们选取了 A、B 和 C 型三种点火头。选取点火头的试验,是将点火头并联连接,从一头用稳压点火电源点燃,根据多点点传火试验的总要求,每次试验选取同一种型号的点火头,分为 12 组,通过 20000 幅/s 的高速摄影机进行全程拍摄。点火头的排布示意图如图 1。经过几轮点火头的选取,选取点火时间最短、一致性最好的点火头作为模拟装置试验的点火源。

2.2 一致性试验结果

检验点火头的点火一致性是多点点传火试验的一个重要环节。在选取点火头的试验中,将 12 组点火头并联连接,采用 30 A/30 V 的可调稳压点火电源,根

收稿日期: 2010-03-18; **修回日期:** 2010-06-07**基金项目:** 国家自然科学基金资助**作者简介:** 季晓松(1979-),男,博士生,主要从事兵器发射理论与技术研究。e-mail: ni-ni_79@163.com**通讯联系人:** 王浩(1961-),男,研究员,博士生导师,主要从事兵器发射理论与技术研究。e-mail: wanghao@mail.njust.edu.cn

据不同点火头的可靠发火电流调节电源输出电压电流值。使用高速摄影机以 20000 幅/s 的拍摄速率进行全程拍摄。从拍摄的点火头的点燃过程来看,点火头种类不同其点火的一致性也有较大的区别。图 2 给出了三种不同点火头试验的高速摄影照片,白色亮点为点火头被点燃。从照片中可明显看出两种点火头的点火时间存在着较大差异,A 型的 12 组点火头全布点燃约 7 ms,B 型的 12 组点火头则在相同时间内只点燃 5 组点火头,全部点燃约 0.1 s。C 型点火头发火一致性要高于前两种,多数点火头在 3 ms 内点燃,全部点燃在 4 ms 内。根据点火头点燃一致性试验的结果,选定 C 型点火头作为多点点火具的点火源。

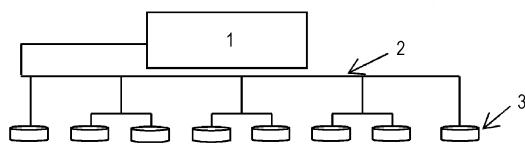


图 1 各点火头点火电源连接示意图

1—点火电源, 2—点火导线, 3—点火头

Fig. 1 Igniters-power supply connection

1—ignition power supply, 2—wire, 3—igniter

3 多点点火管结构设计

根据某大口径平衡炮设计的要求及该火炮药室长度超过 3 m 的特点,设计了多点点火管的结构,设计并加工了多点点火管模拟试验装置的结构。

3.1 可燃中心传火管结构

在长药室装药中,多点点火可取代传统的底部点火的方式,提高装药的同步性和均匀性,有效解决大口径火炮高装填密度装药轴向点传火问题,从而能够保证长药室装药的安全性和稳定性,因此多点点传火技术在长药室装药中的应用能较好地解决多点点传火的问题。本实验根据该平衡炮的药室长度,利用点火导线并联排布的方式将多节可燃中心传火管前后紧密衔接。单节可燃中心传火管结构示意图见图 3,该中心传火管长为某制式可燃传火管,两端为装有 50 g 2# 小粒黑的点火药盒(每个点火药盒中装有一个点火头),传火管中心装有 250 g 2# 大粒黑的蛇型药袋。

3.2 点火管试验模拟装置

为了多角度测试点火管多点同时点火的一致性,设计了直径略大于可燃中心传火管的模拟装置,如图 4 所示。根据可燃中心传火管的尺寸,将模拟装置同样也设计成了多节,单节长 0.5 m,节与节之间有连接器,可方便进行不同长度的试验,每个连接器上开有测压孔。两端的连接器设计有密封环,用于压紧铝制膜片,接线一端的铝制膜片上装有接线柱。试验时,将可燃中心传火管连接好装于模拟装置中(一节模拟装置对应装有一节可燃中心传火管),点火后测量模拟装置内每个连接器位置的的压力时间变化,同时也可通过高速录像的拍摄判读两端破膜的时间间隔。通过高速录像分析(图 5),两端破膜时间间隔相差 4 ms,符合试验的技术要求。

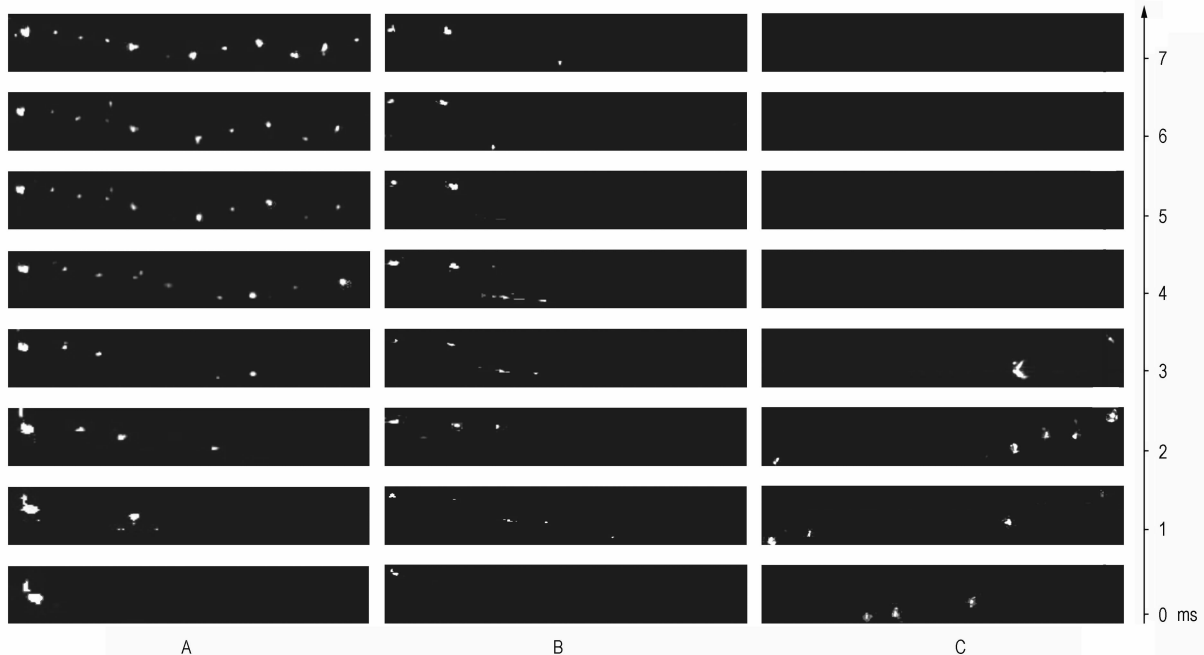


图 2 点火头点火高速摄影照片

Fig. 2 High-speed photographs for ignition with multi-igniter

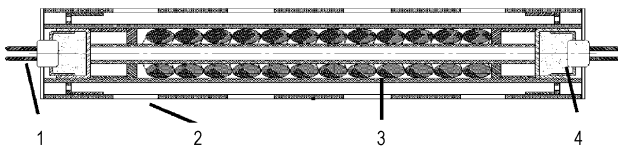


图3 单节中心传火管

1—点火导线, 2—喷孔, 3—蛇形药袋, 4—点火药盒

Fig. 3 Single center igniter

1—wire, 2—nozzle hole, 3—snakelike powder bag, 4—igniter cartridge

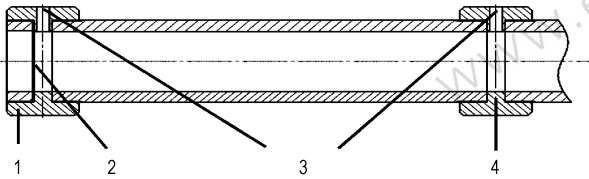


图4 模拟装置结构示意图(单节)

1—密封环, 2—泄压膜片, 3—测压孔, 4—连接器

Fig. 4 Scheme of analog devices (single section)

1—gland ring, 2—decoupling diaphragm, 3—pressure tap, 4—linker

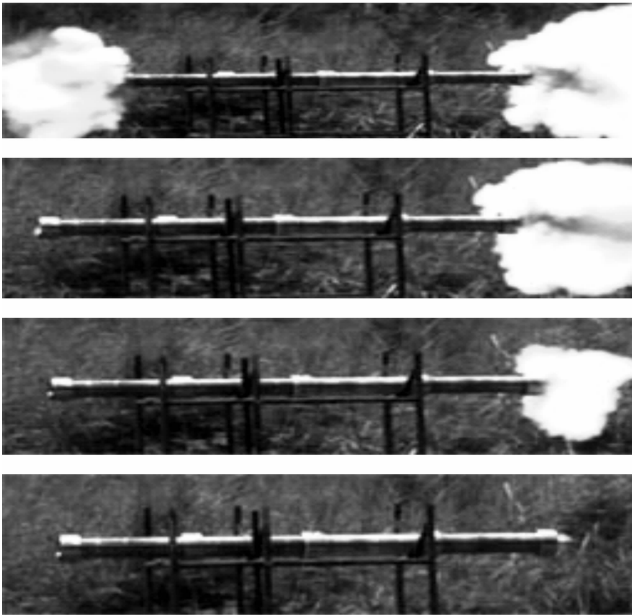


图5 模拟装置高速录像照片

Fig. 5 High-speed photographs of the analog device

4 多点点火试验

4.1 多点点火管模拟装置试验

将所需中心传火管连接好后装入点火管试验装置进行试验, 见图6。为测试多点点火管轴向点火的瞬时性, 在每节点火管的连接处装有压力传感器, 可以准确测出点火管内不同节点的压力随时间变化, 同时对

点火管进行高速摄影, 观察两端膜片的破膜过程。压力传感器的安装位置如图7所示。

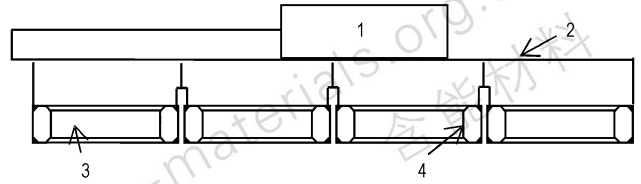


图6 点传火模拟试验点火电源连接示意图

1—点火电源, 2—点火导线, 3—中心传火管, 4—点火药盒

Fig. 6 Diagram of ignition simulation igniter-power connector

1—ignition power supply, 2—wire, 3—central igniter tube, 4—igniter cartridge

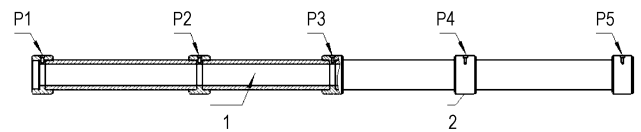


图7 压力传感器安装位置示意图

1—中心传火管, 2—连接器

Fig. 7 Scheme of pressure sensor installation location

1—central igniter tube, 2—linker

4.2 试验结果分析

根据点火头点燃一致性试验的结果, 选定C型点火头作为多点点火具的点火源, 并在模拟试验装置上进行了点火试验。试验从安全可靠的目的出发, 采取分节试验的步骤, 依次分别为两节、四节的点火管多点同时点火试验。将所需可燃中心传火管按图4所示, 连接好装入对应长度的模拟装置进行试验。为测试模拟装置内多点点火的轴向点火一致性, 在每个连接器的测压孔中装有石英晶体压电式压力传感器, 可以准确测出模拟装置内该点压力随时间的变化, 同时对点火管进行高速摄影, 观察两端膜片的破膜过程。

图8至图10给出了两节长度、四节长度多点点火的试验测得的破膜前压力曲线, 图9是采用中间一点点火方式四节长度点火管的测量结果, 破膜前压力-时间曲线出现了较大的压力震荡, 点火的一致性较差。随即改变了点火位置, 采用多点点火方式, 测量得到的压力-时间曲线如图10所示, 从曲线上看, 点火一致性得到了明显改善。在破膜前, 压力曲线上升趋势一致, 时间相差小, 同时点火的一致性较好。其中两节和四节模拟装置试验测得的 $p-t$ 曲线可以明显看出, 压力曲线基本是重叠上升的, 所以在时间上基本是完全同步; 试验中压力曲线上升趋势一致, 压力上升较晚的曲线

分别是两端测压点测得的压力,排除了靠火焰传播点燃的可能。图10中5条压力曲线上升趋势一致,压力上升较晚的曲线分别是两端测压点测得的压力,排除了靠火焰传播点燃的可能。表1中列出了达到3 MPa压力的时间。需要说明的是由于破膜后装置内气体不断向外流出,气体扰动造成两端的压力曲线在破膜后出现幅度较大的波动。从测得压力曲线来看:在破膜前,压力曲线上升趋势一致,时间相差小,同时点火的同步性好。

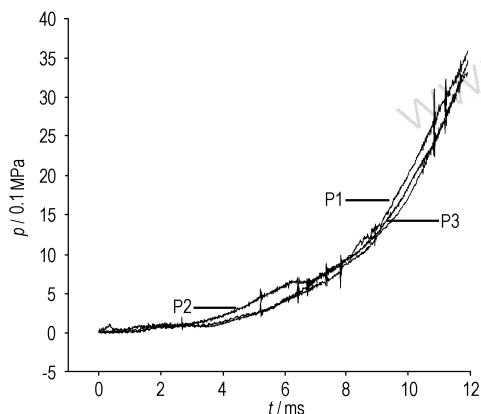


图8 多点点火的两节模拟装置压力-时间曲线

Fig. 8 p - t curves of multi-point ignition for the two analog devices

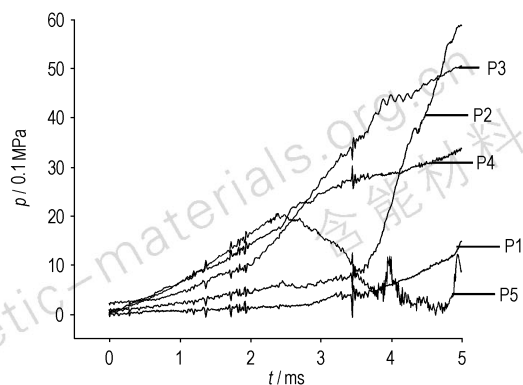


图9 中间点火的四节模拟装置压力-时间曲线

Fig. 9 p - t curves of ignition end for the four analog devices

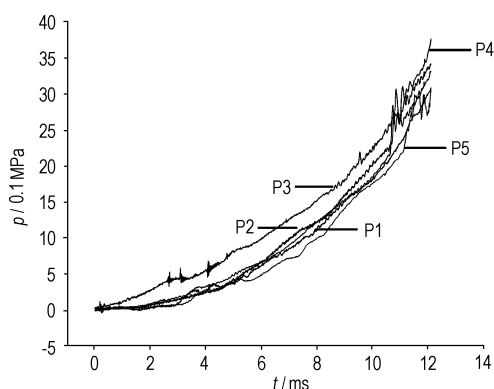


图10 多点点火的四节模拟装置压力-时间曲线

Fig. 10 p - t curves of multi-point ignition for the four analog devices

表1 试验数据

Table 1 Test data

sequence number	pitch number	time of 3 MPa (opposite time) /ms					time difference /ms
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	
1	2	11.21	11.43	11.43	-	-	0.22
2	4	5.18	4.15	3.19	2.48	1.96	3.22
3	4	11.97	11.72	11.42	11.20	11.65	0.77

5 结束语

(1) 试验选取的C型点火头的点火的一致性最好,可以作为多点点火系统的点火头使用。

(2) 由多个点火头、黑火药点火药盒、蛇形黑火药袋、可燃中心传火管组成的多点点火系统的压力-时间曲线表明,多点点火系统技术可行、工作安全可靠。

(3) 长药室多点点火的试验研究表明,本研究所采用的多点点火技术可以满足长药室装药中点火一致性的要求。目前该多点点火系统已经通过火炮射击鉴定验收试验,本文的研究结果对于大口径火炮长药室装药的设计具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 王浩,张莺. 药床中火焰传播速率测试技术研究[J]. 弹道学报, 1997,9(2): 87-90.
WANG Hao, ZHANG Ying. A method of measuring the flame propagation rate in fire transfer tube [J]. *Journal of Ballistics*, 1997,9(2): 87-90.
- [2] 王浩,梁世超,张莺. 火焰在传火管装药床中传输特性研究[J]. 爆炸与冲击, 1999,19(1): 66-71.
WANG Hao, LIANG Shi-chao, ZHANG Ying. Study of flame propagation characteristics in fire transferring tube [J]. *Explosion and Shock Waves*, 1999,19(1): 66-71.
- [3] 黄明,王浩. 传火管中不同装药结构传火性能试验研究[J]. 弹道学报, 2005,15(1): 83-86.
HUANG Ming, WANG Hao. The experimental study on the performance of ignition and flame spreading in igniter for different

- charge constructions[J]. *Journal of Ballistics*, 2005, 15(1): 83 – 86.
- [4] 王浩, 黄明, 邵志坚. 激光多点点火技术试验研究[J]. 弹道学报, 2000, 12(2): 92 – 96.
- WANG Hao, HUANG Ming, SHAO Zhi-jian. The research on technology of laser multi-point ignition for gun[J]. *Journal of Ballistics*, 2000, 12(2): 92 – 96.
- [5] Brad E. Trends observed in the laser ignition of black powder and JA2 propellant. ADA277904[R], 1994.
- [6] 王浩, 黄明, 邵志坚. 火炮中激光多点点火技术试验研究[J]. 兵工学报, 2000, 21(2): 101 – 104.
- WANG Hao, HUANG Ming, SHAO Zhi-jian. A study on the laser multi-point ignition of guns[J]. *Acta Armamentarii*, 2000, 21(2): 101 – 104.
- [7] 龚海刚, 李启明, 袁稳新, 等. 多点点火技术的试验研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2001(1): 15 – 17.
- GONG Hai-gang, LI Qi-ming, YUAN Wen-xin. Experiment research to multi-points-ignition technology[J]. *Gun Launch & Control Journal*, 2001(1): 15 – 17.

Experimental Study on Technology of Multi-point Ignition in Long-Chamber Charge

JI Xiao-song^{1,2}, WANG Hao¹, FENG Guo-zeng^{1,3}

(1. School of Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Nanjing Branch, Artillery Institute Nanjing, Nanjing 211132, China; 3. School of Naval Architecture and Ocean Eng., Jangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: In order to solve the problem of ignition and flame spreading in axis of long-chamber charge in the large-caliber gun, a multi-point system was designed to research for charging the long charge-chamber of which the length is more than 3 meters. The high-speed camera was used to study the igniting consistency. Results show that C igniting is ignited in 4 ms, and the consistency is better than A and B igniter. The $p-t$ curves in different lengths of multi-point ignition tube are measured, the results show that the $p-t$ curves of two parts and four parts simulation equipment are almost superposition, the $p-t$ curves ascend consistently before the diaphragm broke, with good igniting consistency. The feasibility and reliability of the technology in long-chamber charge are validated by the experiment.

Key words: interior ballistics; charge; long-chamber; multi-point ignition

CLC number: TJ55; TJ41

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.01.014