

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.021

## 高射速火炮连发初速测试技术

李笑娟<sup>1</sup>, 倪晋平<sup>2</sup>

(1. 西安昆仑工业(集团)有限责任公司 产品研究所, 西安 710043;

2. 西安工业大学 光电测试技术研究所, 西安 710043)

**摘要:** 针对火炮连发初速测试的现状和需求, 提出一种高射速连发初速测试方法及系统。利用数据采集仪代替计时仪, 直接对天幕靶输出的弹形模拟信号进行采集, 再经过广义相关算法, 测试出每发弹丸经过两靶的飞行时间, 根据两靶的距离以及飞行时间, 从而计算出每发弹丸的飞行速度, 实现了在高射速、长连射发数、多目标等环境下的火炮连发初速测试。经在高射速小口径火炮上进行多次验证表明, 该方法能满足高射速连发初速的测试需求, 实现初速、立靶密集度与测试项目相结合, 减少试验用弹量, 提高工作效率。

**关键词:** 火炮; 初速; 射速; 测试; 天幕靶; 数据采集仪

**中图分类号:** TJ306+1 **文献标志码:** A

## Muzzle Velocity Test Technology of High Fire Rate Cannon Burst

Li Xiaojuan<sup>1</sup>, Ni Jinping<sup>2</sup>

(1. Product Research Institute, Xi'an Kunlun Industry (Groups) Co., Ltd., Xi'an 710043, China;

2. Photoelectric Test Technology Institute, Xi'an Industry University, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** In view of present situation and demand, this article introduces one type of testing method and system of muzzle velocity test technology of burst of high firing rate cannon. This method adopts data collecting device to replace timing device. Data collecting device directly collects cartridge-shape analog signal output by sky screen target and measures the flying time of each projectile going through two targets. The flying speed of each projectile can be calculated on the basis of the distance between two targets and flying time of each projectile. This method realizes the muzzle test of burst of cannon under the conditions such as high firing rate, long burst of fire and multi-target. The multiple-verification checked by high firing-rate small caliber cannon demonstrates that this test method can satisfy the test requirements of the muzzle velocity of high firing-rate burst, integrates muzzle velocity, vertical target dispersion with test items, reduces the ammunition consumption of test and improves the working efficiency.

**Keywords:** cannon; muzzle velocity; fire rate; test; sky screen target; data collecting device

### 0 引言

初速是衡量火炮性能的基本参数, 是射表编制和内弹道研究的重要数据, 是火炮的一项重要战技指标, 也是最重要的试验及测试项目之一。现有的初速测试方法主要是基于计时仪的区截装置法和雷达测速法。区截装置法是测量弹丸飞过一段已知距离的时间, 然后用距离除以时间求得已知距离上的平均速度。雷达测速法是应用多普勒原理, 通过测试雷达发出的发射波与运动弹丸反射的接收波之间的频差, 来计算弹丸的飞行速度。但以上方法仅适用于单发、低射速连发的初速试验, 不能满足高射速连发的试验需求和新型高射速火炮的研制要求。因此, 笔者提出一种基于数据采集仪的区截装置法, 以满足高射速火炮的连发初速测试需求, 并可在同一射击条件下, 完成火炮内、外弹道关键参数的综合考核, 为进一步分析研究火炮的运动规律奠定基

础。

### 1 测试系统需求分析

针对被测对象的高初速、高射速、长连射发数等特性, 以及射击过程中炮口抛射物、物理场分布复杂等实际情况, 确定高射速连发初速测试系统的主要需求为:

- 1) 具有高速采集、快速处理等功能;
- 2) 具有较高的测试精度;
- 3) 具有通道、手动、外部等多种触发方式;
- 4) 能够适应于高射速、多发数的射击条件;
- 5) 能够适应于抛射物、多目标的测试环境;
- 6) 能够适用于炮口火焰、烟雾、冲击等环境。

### 2 系统组成及工作原理

#### 2.1 系统组成

测试系统主要由 2 台天幕靶、数据采集仪、专

收稿日期: 2011-02-13; 修回日期: 2011-04-22

作者简介: 李笑娟(1965—), 女, 陕西人, 学士, 研高工, 从事高射速小口径火炮综合测试与试验技术研究。

用电源、防护及 2 台抗干扰装置等 4 部分组成, 如图 1。

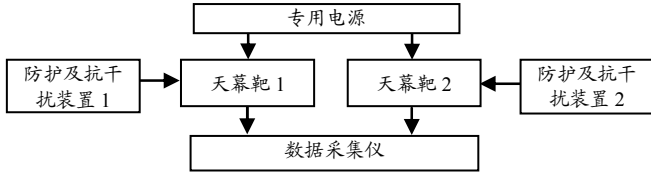


图 1 高射速连发初速测试系统组成框图

### 2.2 工作原理

天幕靶以天空为背景, 在光学系统狭缝光阑的作用下, 天幕视场为具有一定厚度的扇形, 其狭缝光阑及作用原理分别如图 2 和图 3。一旦有飞行物体进入该天幕, 遮住了进入狭缝的部分光线, 则光敏元件的光通量就发生了变化, 电路就会产生一正比于该光通量变化的信号, 此信号经过放大、整形, 最后输出一个时间脉冲信号。

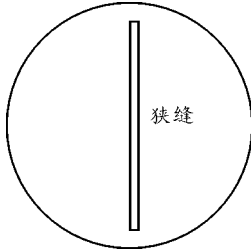


图 2 天幕靶狭缝光阑示意图

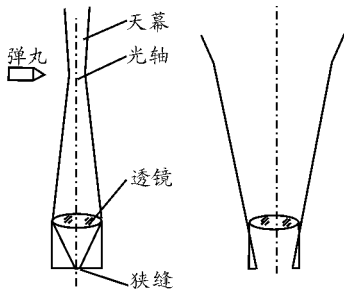


图 3 天幕靶作用原理图

采用数据采集仪和专业分析软件, 可以直接对天幕靶输出的弹形模拟信号进行采集和分析处理。连发射击状态下, 假设测试区间上无 2 发弹丸超越的情况发生, 则连发的弹丸依次穿越 2 个平行的测速天幕, 每一个天幕靶会依次输出每发弹丸的弹形模拟信号。经过排队即可得到每个弹丸的过靶时间间隔, 再运用广义相关算法对脉冲间隔的延迟进行分析, 则可计算出相邻 2 发弹丸的时间延迟。已知两靶的距离以及弹丸经过的时间, 就可测量出弹丸速度飞过两靶之间的平均速度。

## 3 测试流程

测试流程主要包括 7 个部分, 如图 4。

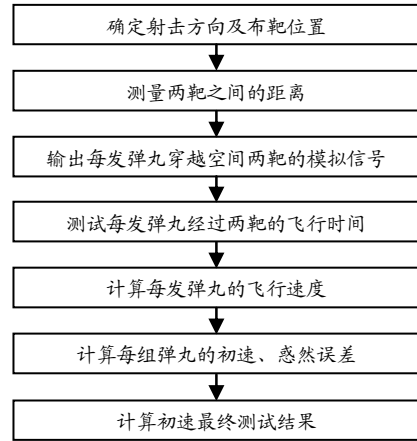


图 4 高射速火炮连发初速测试流程图

### 3.1 确定射击方向及布靶位置

如图 5, 采用校靶镜标定出炮管预定弹道线  $P_1P_2$  在地面上的投影线。在投影线上选取 2 点  $Q_1$ 、 $Q_2$  作为 2 台天幕靶的放置点,  $x$  为  $Q_1$  点到炮口的距离,  $S$  为  $Q_1$ 、 $Q_2$  两点间的距离,  $H$  为弹道高度。

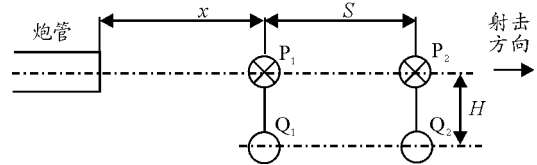


图 5 射击方向及布靶位置确定示意图

### 3.2 测量 2 个天幕靶之间的距离

用钢卷尺测量 2 靶相应基准线的距离  $S$ , 得到 2 个数据, 如果 2 个数据相差大于 1 mm, 可用方向微调使两值相差小于 1 mm, 最终测得 2 靶之间的实际距离值。

### 3.3 输出每发弹丸穿越空间光幕的模拟信号

运行连发初速专用软件, 首先进行弹丸长度、飞行速度、弹道高度、两靶距离、采样率、记录时间等的参数设置; 然后进入待触发等待状态; 在射击状态下, 测试系统将自动工作, 2 个天幕靶将依次输出每发弹丸穿越空间 2 个光幕的模拟信号。

### 3.4 测试每发弹丸经过两靶的飞行时间

弹丸飞过 2 个靶面所产生的弹丸信号波形具有相似性。根据相关函数性质可知, 当相关函数取得最大值时所对应的时间值, 即为每发弹丸经过 2 个靶的飞行时间<sup>[1-3]</sup>。

### 3.5 计算每发弹丸的飞行速度

用两靶的距离除以弹丸飞过两靶的时间, 得出每发弹丸的飞行速度。

3.6 计算每组弹丸的初速及感然误差

取每发弹丸的算术平均值再加上修正值，即为每组弹丸的初速；按中间误差公式计算每组弹丸的或然误差。

3.7 计算初速最终测试结果

取 3 组初速测试结果的均方根值作为初速的最终测试结果。

4 测试验证及分析

采用笔者所述的测试方法及测试系统，结合高射速小口径火炮的研制，分别进行了多组不同射速、不同发数状态下的连发初速测试验证，还在单发、超低射速连发等射击条件下，与测速雷达进行了测试对比。测试结果表明，测试系统能够满足火炮的高初速、高射速、多目标等的测试需求；能够适用于连续炮口焰、炮口烟、冲击波等环境条件；在同一条件下，测试系统的测试结果与雷达的测试结果相一致。11 连发高射速初速测试弹形模拟信号见图 6，其中  $t_1 \sim t_{11}$  为每发弹丸经过两靶的飞行时间。

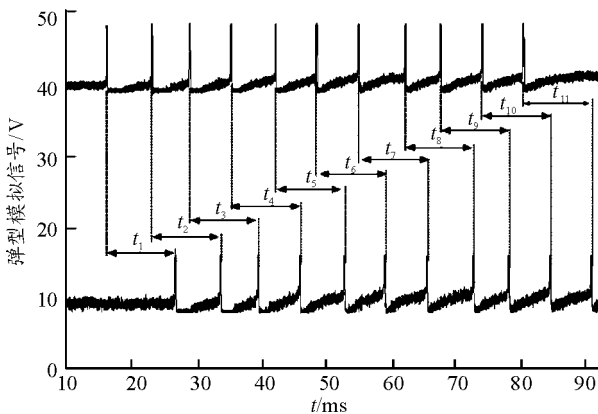


图 6 11 连发高射速初速测试弹形模拟信号图

10 连发高射速初速测试结果见表 1，50 连发高射速初速测试结果见表 2，与测速雷达对比测试结果见表 3。

表 1 10 连发高射速初速测试结果表

弹序 <i>i</i>	飞行速度 <i>v</i> /(m/s)	1 靶时间 <i>t</i> /ms	2 靶时间 <i>t</i> /ms	飞行时间 $\Delta t$ /ms
1	917.8	0	10.924	10.924
2	915.7	6.967	17.916	10.949
3	916.6	12.848	23.786	10.938
4	916.9	19.303	30.238	10.935
5	911.8	26.185	37.181	10.996
6	919.6	32.504	43.407	10.903
7	912.1	39.032	50.024	10.992
8	916.8	46.311	57.247	10.936
9	910.5	51.707	62.719	11.012
10	913.9	58.185	69.155	10.970

表 2 50 连发高射速初速测试测试结果表

弹序 <i>i</i>	速度 <i>v</i> /(m/s)	飞行时间 $\Delta t$ /ms	弹序 <i>i</i>	速度 <i>v</i> /(m/s)	飞行时间 $\Delta t$ /ms
1	1 144.7	5.169	26	1 142.1	5.180
2	1 133.3	5.217	27	1 145.2	5.167
3	1 142.8	5.177	28	1 144.7	5.169
4	1 135.2	5.209	29	1 147.1	5.159
5	1 126.2	5.247	30	1 144.2	5.171
6	1 146.2	5.163	31	1 132.8	5.219
7	1 149.3	5.150	32	1 177.3	5.037
8	1 133.0	5.218	33	1 116.3	5.290
9	1 114.6	5.297	34	1 156.9	5.119
10	1 133.0	5.218	35	1 143.8	5.173
11	1 145.0	5.168	36	1 146.4	5.162
12	1 129.5	5.233	37	1 144.5	5.170
13	1 132.8	5.219	38	1 154.4	5.129
14	1 146.2	5.163	39	1 139.2	5.192
15	1 138.0	5.197	40	1 150.8	5.144
16	1 125.5	5.250	41	1 147.4	5.158
17	1 147.4	5.158	42	1 136.1	5.205
18	1 144.2	5.171	43	1 157.4	5.117
19	1 131.4	5.225	44	1 131.6	5.224
20	1 135.4	5.208	45	1 145.5	5.166
21	1 126.7	5.245	46	1 144.7	5.169
22	1 148.6	5.153	47	1 148.1	5.155
23	1 149.6	5.149	48	1 136.8	5.202
24	1 146.9	5.160	49	1 149.1	5.151
25	1 138.0	5.197	50	1 137.8	5.198

表 3 与测速雷达对比测试结果表

弹序 <i>i</i>	测速雷达 测试结果 <i>v</i> /(m/s)	天幕靶系统测试 结果 (修正前) <i>v</i> /(m/s)	天幕靶系统测试 结果 (修正后) <i>v</i> /(m/s)	测试 误差
1	1 162.0	1 159.6		
2	1 155.7	1 153.6		
3	1 145.3	1 143.7		
4	1 155.8	1 152.3		
5	1 158.5	1 155.8		
6	1 141.9	1 139.2	1 154.0	0.15%
7	1 146.3	1 144.1		
8	1 147.2	1 145.7		
9	1 155.7	1 152.9		
10	1 154.1	1 151.4		
平均	1 152.3	1 149.8		

5 结束语

经多次验证表明：1) 高射速连发初速测试方法能够满足高射速火炮的连发初速测试；2) 首次实现初速、立靶密集度 2 个试验与测试项目相结合，为进一步分析研究火炮的运动规律奠定了基础，推动了火炮试验与测试领域的技术进步；3) 减少了试验用弹量，节约了试验成本，提高了工作效率，具有较强的实践指导意义和推广应用价值。

参考文献：

[1] 王伟. 基于相关测速法的热轧材速度测量[J]. 兰州理工大学学报, 2004, 30(6): 79-81.  
 [2] 陈建军, 杨雷, 倪晋平. 基于数据采集方法的弹丸速度测量[J]. 西安工业学院学报, 2005, 25(3): 235-240.  
 [3] 董涛, 倪晋平, 马时亮. 基于天幕靶的弹丸飞行时间计算方法[J]. 探测与控制学报, 2007, 29(3): 29-33.