

红外光幕靶测速系统和精度分析*

刘群华 施浣芳 阎秉先 韩峰 蔡荣立

(西安工业学院光电测试技术研究所, 西安 710032)

摘要 介绍了弹丸初速度测量的不同方法;讨论了红外光幕靶的测速原理;分析了该系统的测速误差;由实弹射击试验证明:红外光幕靶测速系统达到小于0.1%的测速精度.

关键词 红外;光幕靶;速度

中图分类号 V556.2 **文献标识码** A

0 引言

弹丸初速度大小是衡量弹道特性的重要参数之一,测量初速度是枪炮、弹药研制生产和开发验收中最基本的试验项目.有多种弹丸初速测量方法,最早采用铜丝网靶和箔靶,它具有机构简单、使用方便的优点,但接触测量往往会影响弹丸的弹道特性(如弹速下降、偏离弹道等),而且待测弹丸不能用真引信(否则有时会引起早炸).因此出现了非接触测量,如线圈靶、天幕靶和光幕靶等.其中,线圈靶利用电磁感应原理,常需要将弹丸磁化处理;天幕靶要自然光作为光源,不能全天候测量.为了全天候测速,发展了光幕靶;而后研制成红外光幕靶实现更快、更准弹速测量.

1 光幕靶的测速原理

光幕靶是利用光电转换原理研制而成,当飞行弹丸通过红外光幕时,汇聚在接收器件上的光通量发生变化而产生微弱的电信号,经过放大处理后形成脉冲信号触发测时仪,从而得到一个时间量,当记录弹丸飞经两光幕的时间间隔,并测量两光幕间距,便可计算出弹丸在这一区间的飞行速度.

光幕靶是由两个平行光幕组成,一个称起始靶,另一个为停止靶,起始靶光幕1为测时仪提供起始信号,停止靶天幕2为测试仪提供停止信号.两光幕功能见图1.其中,每个光幕均由发射器件、光阑和接收器件及有关结构组成.

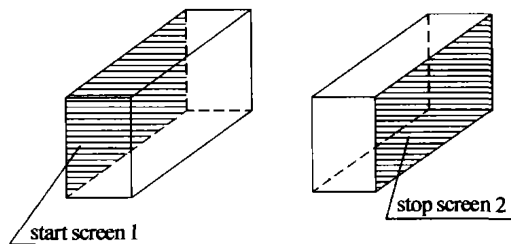


图1 两光幕功能图
Fig. 1 The function of two light screens

当弹丸垂直穿过1、2光幕,测试仪记录相应的飞行时间,再根据光幕1和2之间的靶距,可求出弹丸穿过该靶的飞行速度.

$$\bar{V} = 1000 \frac{S}{t_3} \text{ (m/s)} \quad (1)$$

式中靶距 S 为天幕1至天幕2的距离,单位为 mm; \bar{V} 为弹丸的飞行速度,单位为 m/s; t_3 为弹丸在天幕1到天幕2间的飞行时间,单位为 μs .

2 红外光幕靶的机构和特点

红外光幕靶的主要技术指标见表1,适用条件为:环境温度为 $-10 \sim 40^\circ\text{C}$,外接电源:电压为 220 V,频率为 50 ~ 60 Hz.测速系统如图2,主要由靶架、靶体和控制仪等三部分组成.各部分的主要功能为:1)靶架,主要是支撑、调节靶体,安装控制仪.通过调节地脚,使靶体上的光幕呈铅垂状.地脚的机构如图3,它由手轮,螺杆,螺母等零件组合而成.2)靶体,是实现飞行弹丸速度测量的机构主体.它是由框架、两个发射器和两个接收器组成.其中,发射器是由多个红外发光管串联而成,加上狭缝光阑,形成厚度很薄,光能量均匀的光幕;接收器是由光敏二极管阵列和放大电路组成,具有探测灵敏度高的特点.3)控制仪,用来控制起始靶和停止靶,并进行时间测量.还为光幕靶供电、提供触发信号和模式选择.

表1 主要技术指标

有效靶面 /mm	适用弹径 /mm	弹速范围/ (m·s) ⁻²	测速精度/ (%)	射击频率/ (发/min)
800 × 1200	φ4.0 ~ φ12.7	50 ~ 1000	≤0.1	60

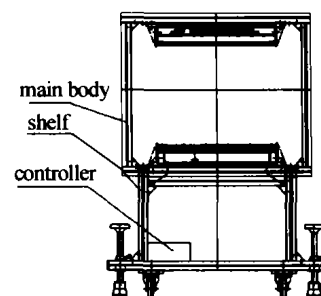


图2 光幕靶系统图
Fig. 2 Light screen system

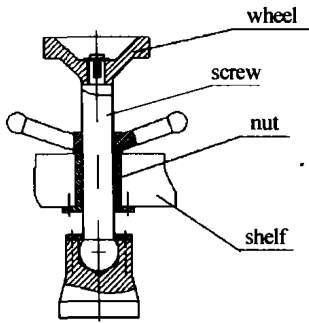


图3 地脚
Fig. 3 The support screw

红外光幕靶的主要特点:1)光幕靶集成一体,结构紧凑,测距精度高;2)有效光幕面积大、光幕能量均匀;3)抗干扰强,工作稳定可靠;4)操作简单,维护方便.

3 红外光幕靶的测速精度分析

对式(1)求微分,得到误差式(2)

$$\frac{dv}{v} = \frac{ds}{s} + \frac{dt}{t} \quad (2)$$

式中: v 为弹丸飞行速度(m/s); s 为两光幕间的靶距(mm); t 为弹丸飞行时间(ms).测速误差由测时和测距两部分误差组成,下面分别讨论.

3.1 测时误差

测时误差来源于:控制仪的晶振频率、起始靶和停止靶灵敏度不一致、各种噪声、干扰引起的误差.红外光幕靶测速系统采用频率为20 MHz的晶振,每次计时带来50 ns的误差;光幕靶灵敏度不同主要是因光电管灵敏度的差异和电器元件参数不一致,对所选光敏二极管严格挑选,使其灵敏度尽可能保持一致,其他电器元件也通过筛选和调试,使其参数接近,故而,保证两光幕灵敏度不一致造成的测时误差为50 ns 因此测时总误差: $dt = 50 + 50 + 50 = 150 \text{ ns} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ ms}$.

3.2 测距误差

测距误差主要有以下四个方面:

1)弹道不垂直光幕,引起靶距误差 ΔS_1

弹丸在飞行过程中,受到各种外力的作用和影响,弹道往往不与光幕垂直,形成一定的夹角(如图4),若弹道与光幕不垂直度为 γ_1 ,弹丸飞行实际距离 S' 与理论距离 S 带来误差 ΔS_1 .

$$\Delta S_1 = \left[\frac{S}{\cos \gamma_1} - S \right] = S \left[\frac{1}{\cos \gamma_1} - 1 \right] \quad (3)$$

常用吊重锤的方法保证光幕垂直,当 $s = 2000 \text{ mm}$, $\gamma_1 = 1^\circ$,则 $\Delta S_1 = 0.3 \text{ mm}$.

2)光幕1、2不平行,引起靶距误差 ΔS_2

如图5,光幕2不平行光幕1,两光幕夹角 γ_2 ,光幕高度为1 m时,引起靶距误差

$$\Delta S_2 = \frac{1000 \sin \gamma_2}{2 \cos \gamma_2} = 500 \tan \gamma_2 \quad (4)$$

为了减少光幕不平行,用钢卷尺对两光幕间距离进行多次测量,并微调有关机构,使 $\Delta S_2 \leq 0.5 \text{ mm}$.

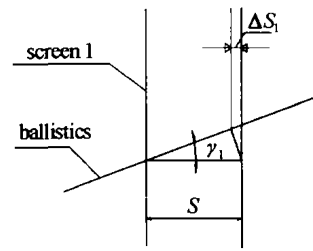


图4 弹道不垂直光幕
Fig. 4 The ballistic is not perpendicular to light screen

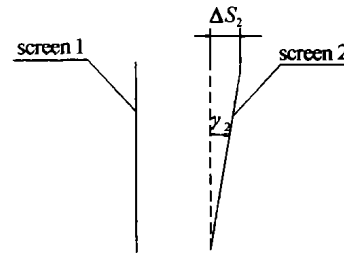


图5 两光幕不平行
Fig. 5 Two light screens are not parallel

3)靶距测量误差 ΔS_3

两光幕之间的距离是由钢卷尺测量,2 m钢卷尺会有0.5 mm的示值误差;读数及钢卷尺拉不直引起0.5 mm的误差;环境温度每变化 1° ,2 m钢卷尺长度变化0.02 mm,若变化 20° ,2 m钢卷尺长度变化0.4 mm.综上所述,靶距测量误差 $\Delta S_3 = 1.4 \text{ mm}$.

4)光幕厚度及光能量不均匀,引起误差 ΔS_4

由于光幕面是由多个红外发光管及红外光敏二极管阵列加上狭缝等机构组合而成,光幕的厚度为0.6 mm,发光器件有不一致的发光强度,接收器件有不完全相同的光电响应,使弹丸在光幕的不同厚度处被响应,引入的距离误差约为厚度的一半,即 $\Delta S_4 = 0.3 \text{ mm}$.

5)测距综合误差 ΔS

上面这几种误差通常不会同时出现最大值,采用均方和的形式表达测距误差 ΔS 较为合理,即

$$\Delta S = \sqrt{\Delta S_1^2 + \Delta S_2^2 + \Delta S_3^2 + \Delta S_4^2} = \sqrt{0.3^2 + 0.5^2 + 1.4^2 + 0.3^2} = 1.55 \leq 1.6 \text{ mm}$$

3.3 测速误差

由式(2)及上面计算,得: $ds = 1.6 \text{ mm}$, $s = 2000 \text{ mm}$, $dt = 1.5 \times 10^{-4} \text{ ms}$,以53式7.62弹为例,弹速 $v = 730 \text{ m/s}$,则飞行时间 $t = 2.74 \text{ ms}$,将以上参数代入式(2), $\frac{\Delta v}{v} = \frac{1.6}{2000} + \frac{1.5 \times 10^{-4}}{2.74} = 8 \times 10^{-4} + 0.6 \times 10^{-5} = 8.6 \times 10^{-4} \leq 1 \times 10^{-3}$ 若弹速 $v = 730 \text{ m/s}$,则速度的绝对误差为 $\Delta v = 0.73 \times 10^{-3} \text{ m/s}$.

4 试验

4.1 两套红外光幕靶测速一致性试验

用气枪射击,对两套红外光幕靶做试验,气枪弹速约为 140 ~ 160 m/s,对比试验结果见表 2.

表 2 两套红外光幕靶一致性对比试验

序号	发数	1#红外光幕靶 $\bar{V}_1/(m/s)$	2#红外光幕靶 $\bar{V}_2/(m/s)$	平均差值/ $\Delta V(m/s)$
第一组	10	151.14	151.9	0.08
第二组	10	153.60	153.15	0.07
第三组	10	148.50	148.56	0.06

从表 2 可以看出,两套红外光幕靶测速对比,三组试验中,每组速度平均差值均小于千分之一,表明红外光幕靶测速一致性良好.

4.2 实弹验收试验

在重庆某靶场,厂方用红外光幕靶测速系统与分离式光电靶实弹射击试验,统计结果如表 3.

从表 3 可以看出,无论较高弹速 739 m/s,还

表 3 红外光幕靶与分离式光电靶对比测速试验

弹种	弹速/ (m/s)	发数/ (发)	两种测速靶单发差异(m/s)最大差异		
			最小差异	最小差异	平均差值
5.8	739	20	1.0	0	0.048
9 × 19	369	20	0.8	0	0.175

是较低弹速 369 m/s,两种测速靶的平均速度差值都小于千分之一,与理论分析完全吻合.

5 结论

利用光电转换原理研制而成的红外光幕靶测速范围广、有效靶面大、结构紧凑,操作方便. 与其他非接触式测速靶相比,具有工作稳定、精度高的优点,线圈靶测速精度为^[1]0.19% ~ 0.24%,而红外光幕靶无论从理论分析还是实弹考核,均达到 $\ll 0.1\%$ 的测速精度.

参考文献

- 1 陈遵银,吴卫铃. 线圈靶测速误差分析. 计量技术,2000,(5):12 ~ 14
Chen Z Y, Wu W L. *Metrology Technique*, 2000, (5):12 ~ 14
- 2 刘群华,施浣芳,阎秉先,等. 红外密集度光电立靶精度分析. 光学技术,2004,30(6):405 ~ 409
Liu Q H, Shi H F, Yan B X, et al. *Optical Technique*, 2004, 30(10):405 ~ 409
- 3 王昌明. 实用弹道学. 北京:兵器工业出版社,1994. 184 ~ 194
Wang C M. *Applied Ballistics*. Beijing: Ordnance Industry Press, 1994. 184 ~ 194

The Infrared Light Screen System and Accuracy Analysis

Liu Qunhua, Shi Huanfang, Yan Bingxian, Han Feng, Cai Rongli
Photoelectric Testing Institute, Xi'an Institute of Technology, Xi'an 710032

Received date: 2004-03-12

Abstract One of the major tasks for each weapon-ammunition system is to measure bullet velocity. The different methods of measuring bullet velocity have been mentioned. The measuring principle of the infrared light screen system was discussed. The main errors measuring velocity were introduced. The firing testing in target field has proved that the infrared light screen system can measure firing velocity rapidly, accurately and automatically. Compared with the other method, the infrared light screen system can approach less than 0.1% measuring velocity error.

Keywords Infrared; Light screen; Velocity



Liu Qunhua was born in 1953, in Shaanxi Province. She graduated from the Department of Optoelectronic Engineering, Beijing Institute of Technology. After that, she has been working at the Photoelectric Testing Institute, Xi'an Institute of Technology more than 30 years. As an associate professor, her interests of research are optical instruments and target field testing.