

基于光网靶的弹丸速度精确测量系统

王荣波, 温伟峰, 周维军, 何莉华

(中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要:设计开发了一套基于光网靶的高精度弹丸速度测试系统。系统采用3站式设计,可以测量出弹丸飞行速度的变化。信号处理单元采用了最新的CPLD模块,集信号放大、脉冲触发、触发计时和脉冲合成于一体。系统有效测试截面为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$,设计测速范围 $50 \sim 4000\text{m/s}$,测量误差小于 0.1% ,可以对直径 $15 \sim 100\text{mm}$ 的弹丸速度进行测量。利用该系统成功测量了电磁轨道炮发射的弹丸速度。

关键词:光电系统;光网靶;弹丸速度;测量

中图分类号:TN249

文献标识码:A

Velocity Measuring System for Flying Projectiles Based on Light Meshs

WANG Rong-bo, WEN Wei-feng, ZHOU Wei-jun, HE Li-hua

(Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: In order to measure the velocity of projectiles in larger testing section and higher precision, a diagnose system for projectiles velocity based on light meshes has been developed. A LD laser, the wavelength of which is 980nm , has been used as a light source in the system. Light shuntors and collimators have been used to form three light meshes. Each mesh has seven light beams. The velocity of projectile can be calculated by using times of light beam shunt off by projectile and intervals of light meshes. The testing section of system is $100\text{mm} \times 100\text{mm}$, testing range is $50 \sim 4000\text{m/s}$, measuring error is less than 0.1% . This system has been successfully used to measure the projectile velocity of an electromagnetic rail gun.

Key words: optoelectronic system; light meshes; velocity; measuring

1 引言

在冲击波物理实验和武器装备的研制生产中,弹丸飞行速度是经常需要测量的关键参数。目前,常用的弹丸速度测试系统主要有磁测速系统^[1-2]和电丝网靶^[3]测试系统。磁测速系统由于其测试截面较小,一般用于弹丸飞行路径确定的轻气炮实验中,对于飞行路径不确定度较大的弹丸则无法测量。电丝网靶的测试截面可以做得较大,但是其测试精度会受到丝网的松紧程度的影响,给最终测试结果不确定度的评定带来了困难,这也限制了它的使用。基于光幕靶^[4-8]和光网靶^[9]的弹丸速度测量系统在近年越来越受到人们的重视。本文介绍的一种基于

光网靶的弹丸速度测试系统,测试截面较大、测量误差小,可以应用于电磁干扰较大的测试环境中。系统采用3站式设计,可以测量出弹丸飞行速度的变化。由于采用了光分路器和光纤准直器,系统只需要一台LD作为光源。信号处理系统采用了最新的CPLD模块,集信号放大、脉冲触发、触发计时和脉冲合成于一体,只需要一个示波器通道来记录系统输出信号。利用该系统成功测量了电磁轨道炮发射的弹丸速度,实验结果表明光网靶弹丸速度测试系

作者简介:王荣波(1976-),男,助理研究员,主要从事光电测试技术研究。E-mail: wangrbo@tom.com

收稿日期:2008-09-12

统性能稳定、测试精度高,是一种可靠的测试手段。

2 测量原理和系统组成

光网测速系统的测量原理是:在弹丸飞行路径的不同位置上安装激光束,当弹丸飞过时依次遮断这些激光束,利用示波器可以判读出弹丸遮断这些激光束的时间,弹丸尾部脱离激光束时示波器也会给出相应的信号,所以也可得到弹丸尾部脱离这些激光束的时间差,再利用激光束之间的距离就可得到弹丸的平均速度。

光网测速系统的组成框图如图1所示。该系统主要由LD激光器、光纤分束器、光纤准直器、光电转换器、信号处理系统和示波器组成。LD发出激光束经过光纤分束器分为21束,输入到分装在3个测试站21路光纤准直器中,每个测试站由7根激光束形成光网,光网分布如图2所示,准直器输出的光信号接入到光电转换器中转换为电信号,21路电信号再输入到信号处理系统中变为1路输出,最后由示波器记录。

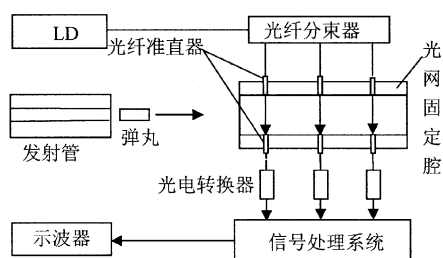


图1 光网测速系统框图

系统采用一台带尾纤输出的LD激光器作为光源,激光波长980nm,最大输出功率270mW。经过多次转接,到达每只光电转换器阴极面的光信号能量实际约为1mW。光电转换器采用能响应980nm波长的光电管,使用光纤输入,1mW的光信号能量输入时其输出电信号幅度不小于300mV,响应时间小于1ns。测试站间距 L 设计为100mm,光纤准直器输出的光束直径为0.4mm。

光网中激光束间距为14.8mm,图2中1号和7号激光束间距为 $14.8\text{mm} \times 6 = 88.8\text{mm}$,最外边的1号和7号激光束每束还可以向外扩展测试半径 $15/2 - 0.4 = 7.1\text{mm}$,则总的测试截面直径为 $88.8 + 7.1 \times 2 = 103.0\text{mm}$,这样可以保证直径15~100mm的弹丸在测试截面之内的任何位置都能至少完全遮断一根激光束,从而捕捉到弹丸到达的信息。

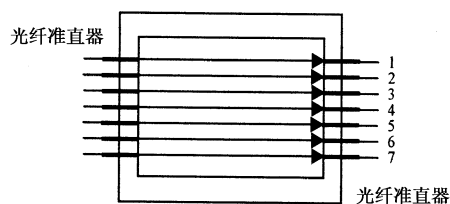


图2 光网布局图

3 信号处理系统

由于系统所用的光电转换器的直流饱和输出小于400mV,为了对弹丸遮断激光束时的信号跳变进行有效的识别,需要对信号进行放大。本系统共使用了21路光信号,若采用示波器直接采集21路信号就需要5台4通道的示波器,这样对实验资源的占用较大,有时无法满足。因此,本系统设计了将21路信号并为1路输入的电路。整个信号处理系统的功能包括:信号放大、脉冲识别、脉冲合成。系统结构如图3所示。系统工作过程为:21路信号放大电路将光电转换器输出的弱信号放大到数字电路可识别的电平范围;信号比较单元将放大的脉冲信号重新整形为低电平为0V,高电平为5V的TTL数字逻辑电平信号;脉冲触发、触发计时、脉冲合成和触发状态指示功能在一片CPLD内实现,脉冲触发单元完成脉冲负跳变沿的识别,脉冲计时单元完成输出脉冲高电平的计时,脉冲合成单元将三组脉冲合并成一路输出经过外部的50Ω阻抗匹配网络传输到示波器输入通道;触发状态指示是通过点亮或熄灭触发指示灯来表明脉冲是否触发的直观显示。实验前通过手动复位将系统调至等待触发状态。

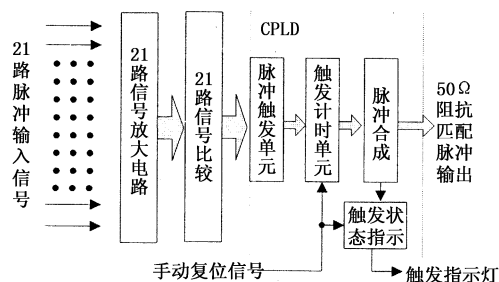


图3 信号处理系统结构图

通过测试,该信号处理系统达到了如下技术指标:输出脉冲信号上升时间小于20ns,脉冲宽度746.4ns,脉冲幅度2V,21路脉冲从输入到输出的延迟时间离散性小于2.5ns。图4为系统输出的信号波形图,图5为实际测量的21路脉冲从输入到输出的延迟时间离散性。

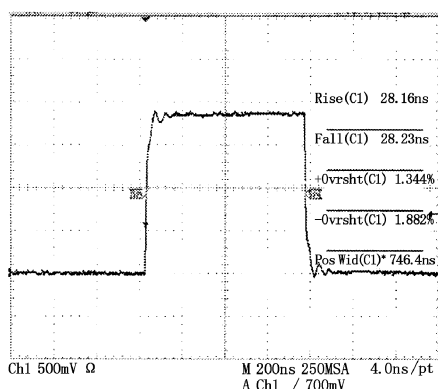


图4 信号处理系统输出的脉冲信号波形

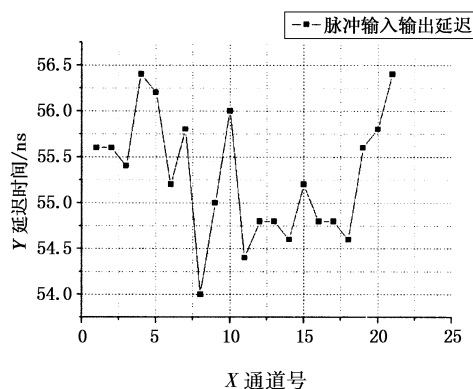


图5 通道延迟时间分散性测试结果

4 系统测量误差分析

弹丸速度 v 是可通过下式计算:

$$v = \frac{L}{t} \quad (1)$$

式中, L 为测试站间距; t 为弹丸飞过两个测试位置的时间间隔。则根据误差传递理论, 弹丸速度的测量误差可由下式进行计算:

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} (\Delta t)^2 \quad (2)$$

式中, ΔL 为测试位置间距的测量误差; Δt 为时间间隔测量误差, 该误差主要由触发单元识别脉冲负跳变沿的误差 Δt_p 和输入到输出的延迟时间离散性 Δt_d 带来, 可由下式进行估算:

$$\Delta t = \sqrt{(\Delta t_p)^2 + (\Delta t_d)^2} \quad (3)$$

式(3)中 Δt_p 可由下式进行估算:

$$\Delta t_p = \frac{1}{4} \cdot \frac{D}{v} \quad (4)$$

式中, D 为激光束直径, 则 D/v 为信号前沿时间; 触发单元识别脉冲负跳变沿的误差一般不会大于信号前沿时间的一半, 这里为了估算的需要将其取为信号前沿时间的一半。整个光网测速系统的设计测速范围为 50 ~ 4000 m/s, 光束直径为 0.4 mm, 则 Δt_p 在

25 ~ 2000 ns 之间, 远大于输入到输出的延迟时间离散性 2.5 ns。则时间间隔测量误差可通过下式计算:

$$\Delta t = \frac{1}{4} \cdot \frac{D}{v} \quad (5)$$

将式(1)、式(5)代入式(2)可得:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\sqrt{16(\Delta L)^2 + D^2}}{4L} \quad (6)$$

将 ΔL 的实测值 0.03 mm 和 $L = 100$ mm, $D = 0.4$ mm 带入式(6), 可得本系统的相对测量误差为 0.04%。

5 实验及结果

利用光网测速系统测量了电磁轨道炮发射的弹丸的飞行速度, 实验布局与图1相同。共进行了 15 发测试, 测量的弹丸速度分布在 500 ~ 2100 m/s。根据实验测得的弹丸遮断激光束时光电转换器给出的原始波形前沿较慢而后沿较快的情况, 将信号处理系统的脉冲识别改为上升沿触发。图6给出了其中一发实验得到的信号波形。图6中上面三个信号为弹丸遮断3层光网时光电转换器给出的原始信号波形, 最下面那个信号为信号处理系统输出的信号波形。图中第1和第2个脉冲的时间间隔为 48.59 μ s, 第2和第3个脉冲的时间间隔为 48.85 μ s。据此计算出弹丸在第1站和2站之间的平均速度为 2.058 km/s, 在第2站和第3站之间的平均速度为 2.047 km/s。由此可以看出弹丸在测试区间内是做减速运动。

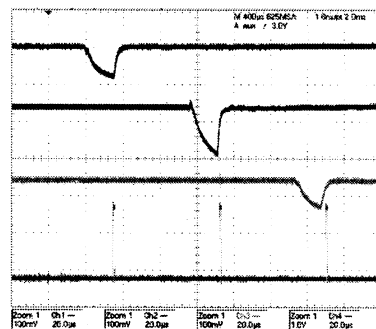


图6 测量电磁轨道炮发射的弹丸飞行速度的输出波形

6 结论

研发了一套基于光网靶的弹丸速度测试系统。系统有效测试截面为 100 mm × 100 mm, 设计测速范围 50 ~ 4000 m/s, 测量误差小于 0.1%。利用该系统成功测量了电磁轨道炮发射的弹丸速度。实验结果表明该系统性能稳定可靠, 测量精度高, 可用于测试截面较大测量精度要求较高的弹丸速度测

量实验中。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Holmes N. Shocking Gas-gun experiments [J]. Science & Technology Review, 2000, (9): 13 - 15.
- [3] 刘福才, 刘阳, 王世国, 等. 基于网靶和高速数据采集方法的弹丸速度测量[J]. 兵工自动化, 2008, 27(3): 72 - 74.
- [4] 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 - 238.
- [5] 郝晓剑, 周汉昌, 苏尚恩. 大面积激光测速靶光学系统的设计与分析[J]. 测试技术学报, 2006, 20(1): 87 - 90.
- [6] 赵冬娥, 周汉昌. 基于大面积激光光幕的弹丸速度测试技术研究[J]. 测试技术学报, 2005, 19(4): 416 - 419.
- [7] 刘群华, 施浣芳, 阎秉先, 等. 红外光幕靶测速系统与精度分析[J]. 光子学报, 2004, 33(11): 1409 - 1411.
- [8] 唐波, 王选择, 晏红. 基于光幕靶的便携式弹丸速度测量系统[J]. 三峡大学学报, 2004, 26(6): 533 - 536.
- [9] 周承仙, 李仰军, 武锦辉, 等. 弹丸速度及弹着点坐标测量系统研究[J]. 弹道学报, 2008, 20(3): 55 - 58.

关于组团赴俄罗斯参观考察的通知(第一轮)

各会员单位、光电企事业单位:

2007、2008 年我协会曾组织参观团考察了俄罗斯国际光学、激光及光电技术、整机和元件展览会。2009 年 4 月 20 - 23 日第四届国际激光、光学和光电子设备专业展会将在莫斯科举行。为了解俄罗斯光学光电产业及市场发展状况, 协助会员单位与俄罗斯光学光电企业建立技术信息交流, 中国光学光电子行业协会拟于 2009 年 4 月 19 - 26 日组团赴俄罗斯。

(一) 主要内容

1. 参观第四届国际光学、激光及光电技术、整机和元件展览会(4 月 20 - 23 日, 展览会网站: [www. photonics-expo. ru](http://www.photonics-expo.ru))。

2. 与俄罗斯光学光电企业及研究单位相关领域负责人和专家进行座谈讨论。

3. 参观莫斯科或圣彼得堡的俄罗斯激光 - 光学中心。

4. 会晤俄罗斯激光协会并加强战略伙伴合作关系。

请有意参加此团的各企事业单位的领导、专家及相关同志于 2009 年 3 月 27 日前将报名表传真至协会秘书处。待报名后将提供更详细的签证办理信息。

(二) 拟定行程安排(为期 8 天)

4 月 19 日(周日), 北京启程, 赴莫斯科。

4 月 20 日(周一), 全天参观俄罗斯激光光电展会。

4 月 21 日(周二), 参观俄罗斯激光相关企业。

4 月 22 日(周三), 赴圣彼得堡。

4 月 23 日(周四), 参观俄罗斯光学企业。

4 月 24 日(周五), 观光。

4 月 25 日(周六), 从圣彼得堡返回莫斯科, 从莫斯科启程回国。

4 月 26 日(周日), 回到北京, 疏散。

(三) 考察费用

参观考察费用: 18000 元人民币(含从北京机场出境至返回北京机场期间的食、宿、交通、参观、手续费等), 费用交纳信息将于第二轮通知中公布。请报名代表在报名时准备好因私护照, 没有护照的请及时办理(护照需有效期至 2009 年 10 月以后)。

(四) 联系方式

电 话: 010 - 84321218 010 - 64331367 传 真: 010 - 64347322

联系人: 万迪女士 杜怡女士 程慧云先生 E-mail: coema@coema.org.cn

为协助各光电企业与俄罗斯光电企业交流, 请在申请表上认真填写您及贵单位感兴趣的项目名称或公司名称, 我们将尽力提前联系。