

# 带光电直流补偿的激光测速靶系统设计\*

王 斌, 赵冬娥

(中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

**摘要:**为了提高弹丸速度测试的精度和抗干扰能力,提出了一种基于光电直流补偿的激光测速靶系统设计。采用了可靠性好、精度高的双启动、双停止区截激光幕速度测试方法,对抗强环境光干扰的光电直流补偿前置放大电路设计方案进行了分析。利用 Microsoft VC++ 程序开发的速度测试软件进行了 7.62mm 弹丸单发速度测试实验,给出了实验波形。

**关键词:**激光测速靶;光电直流补偿;前置放大电路;弹丸速度测试

**中图分类号:** TJ06; TN247      **文献标志码:** A

## The Design of Laser Screens for Velocity Measurement System with Photoelectric DC Compensation

WANG Bin, ZHAO Dong'e

(Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement

(North University of China), Ministry of Education, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** In order to improve accuracy of projectile velocity measurement and anti-jamming capability, a system of laser screens for velocity measurement with photoelectric DC compensation was presented. The method of dual-startup, dual-end, cut-off laser screens for velocity measurement was adopted. In addition, the photoelectric pre-amplifier circuit with DC compensation which is able to anti-jamming from strong ambient light was analyzed. The velocity measurement experiment of single 7.62mm projectile was conducted velocity measurement software based on Microsoft VC++.

**Keywords:** laser screen for velocity measurement; photoelectric DC compensation; photoelectric pre-amplifier circuit; projectile velocity measurement

高、可靠性好、抗干扰能力强的高性能激光靶。

## 0 引言

弹丸飞行速度的测量是武器系统各种运动参数测试中一项至关重要的内容。测速是枪炮、弹药及火药的研制和鉴定中最基本的实验项目之一,它在很大程度上反映了火药的燃烧规律、火药装药设计的优劣和能量利用率的高低,是检验内弹道设计的重要参数<sup>[1]</sup>。

目前国内外测速方法很多,如箔靶(通靶)、铜丝靶(网靶或称断靶)、线圈靶、声靶、天幕靶、甚至还有雷达测速和照相测速法。这些方法不是精度差,就是设备复杂,成本高,后期分析周期长,而激光靶可以很好的解决上述问题<sup>[2]</sup>。为了满足国防科技的发展要求,有必要设计一种精度

## 1 激光测速靶设计方案

激光测速靶设计由光电探测组件、原向反射屏、处理电路和机械结构四部分组成<sup>[3]</sup>。激光靶系统结构如图 1 所示。

图中,光电探测组件由半导体激光器和光电探测器组成。光电探测组件发出的线形激光投射到一定距离之外的原向反射屏上,原向反射屏将激光沿原路反射回光电探测组件,从而形成一个扇形激光幕。当有物体(如弹丸)穿过光幕时,就会引起光通量的变化。光电探测器将变化了的光通量转换成电量,通过硬件电路的处理得到需要的电信号,最后由软件测出速度。理论上,

\* 收稿日期:2008-12-04

基金项目:国防科技重点实验室基金资助

作者简介:王斌(1982-),男,硕士研究生,研究方向:测试技术及仪器光电检测。

整个激光幕内都可以进行弹丸速度测试;但在实际中,光幕的中心区域为激光幕的有效区,实弹测试需在有效区进行。

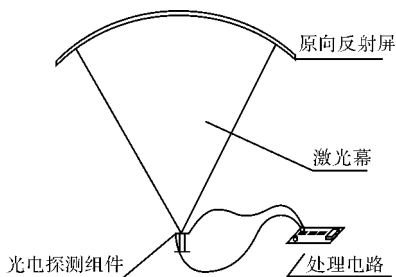


图 1 激光测速靶系统示意图

## 2 带直流补偿的光电前置放大电路的设计方案

光电转换放大电路设计的好坏直接关系到系统响应的灵敏度、信号幅值、噪声大小及抗干扰能力强弱等参数。电路设计包括光电前置转换放大电路、滤波、多级放大等几个部分,其中,光电前置转换放大电路的设计是整个电路设计的核心。

对弹丸飞过激光幕引起光通量变化的探测,理论上是一种弱光检测电路。实际中,在它接收激光光通量变化的同时,还会探测到各种环境光(野外测试时,太阳光就是最大的干扰因素)。当环境光(太阳光或弹丸尾部火光)照射到光电探测器上,光电探测器的直流电平就会升高,光越强,越趋近于饱和值,系统的裕度越小。一旦达到饱和值,系统将丧失探测信号的能力。这时,要设法将干扰所造成的影响尽量减小,

增大系统的裕度,从而使系统即使在强干扰的情况下也能正常工作。

光电前置转换放大电路有多种基本电路可以选择,这里采用电流放大型检测电路来设计系统的光电前置转换电路,如图 2。

图中,光敏二极管和运算放大器的两个输入端同极性相连,运算放大器两输入端间的输入阻抗  $Z_{in}$  是光敏二极管的负载电阻,可表示为:

$$Z_{in} = R_f / (1 + A) \quad (1)$$

式中:  $A$  是放大器的开环放大倍数;  $R_f$  是反馈电阻。

这里假设  $A = 10^4$ ,  $R_f = 100k\Omega$  时,  $Z_{in} = 10\Omega$ , 可以认为光敏二极管是处于短路工作状态,能输出近于理想的短路电流。处于交流放大状态的运算放大器,其输出电压  $U_o$  与输入短路光电流  $I_{sc}$  成比例,并有:

$$U_o = I_{sc} R_f = R_f S \Phi \quad (2)$$

的关系,即输出信号与输入光通量成正比<sup>[4]</sup>。此外,电流放大器因输入阻抗低而响应速度较高,并且放大器噪声较低,信噪比提高,抗干扰能力强,因此广泛应用于弱光信号的检测中。

经前面原理分析,采用电流放大型光电检测电路作为此系统中的光电前置转换电路,并在其基础上增加一些电源滤波电容组及分压电阻,构成完整的光电前置转换电路,如图 3。

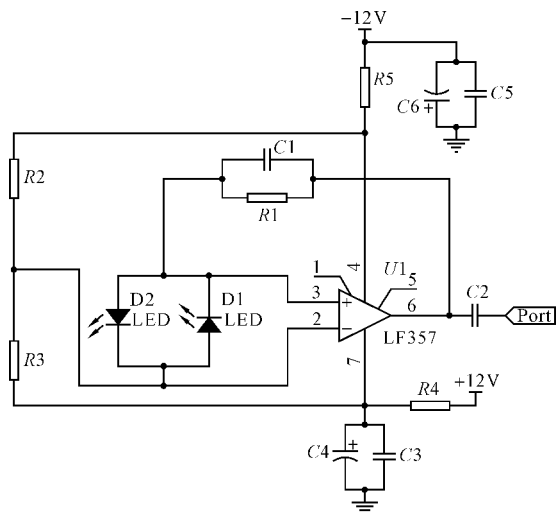


图 3 带直流补偿的光电前置放大电路

图中,  $D_1$  为主光电探测器,  $D_2$  为补偿光电探测器;  $C_1$ 、 $R_1$  为电路反馈, 它们的值对于电路性能有重要影响;  $R_2$ 、 $R_3$  为分压电阻, 对光电探测器提供偏置电压。在电路输出端可以测得一直流电平, 这是由光电探测器所带来的, 幅值介于  $-11 \sim +11V$  之间。当有光照射到光电探测器上, 直流电平就会发生变化。光越强, 直流电平幅值越大, 当趋近于  $+11V$  时, 系统将无法测得任何数据, 形成饱和, 而这种情况是不允许出现的。因此, 当环境光很强时, 用补偿探测器  $D_2$  与主探测器  $D_1$  反接, 将直流电平拉回至正常工作状态。

常态下系统直流电平值、饱和时系统直流电

平值及直流补偿时系统直流电平值分别如图 4、图 5 及图 6。

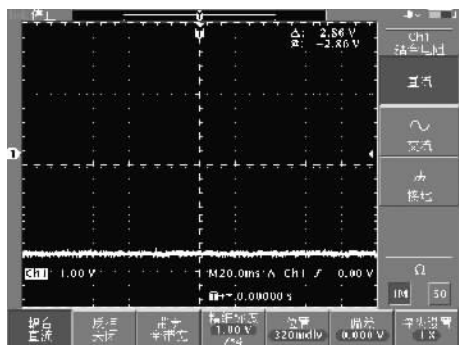


图 4 常态下直流电平值

由图可知,在  $R_2, R_3$  分压电阻作用下,系统输出的直流电平为  $-2.86\text{V}$ 。

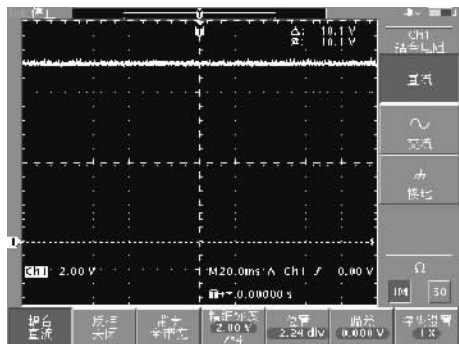


图 5 饱和状态直流电平值

由图可知,将光电探测器放置到强环境光背景中(如太阳直射时),系统输出的直流电平为  $+10.1\text{V}$ ,此时饱和。

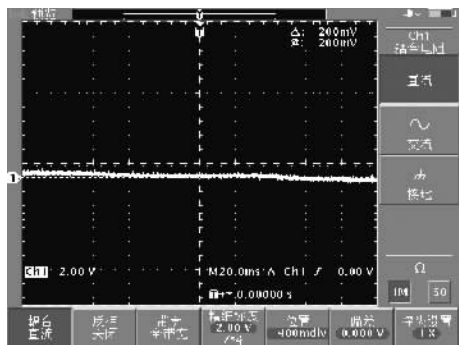


图 6 带直流补偿的直流电平值

由图可知,在系统饱和情况下,接一补偿光电探测器,使得它们同处于强环境光的背景中,这样系统直流电平被拉回至  $0\text{V}$  左右,同时系统噪声还在允许范围内。

### 3 实验系统搭建

为了实现高精度的测量,提高测试的可靠

性,实验系统采用双启动、双停止靶区截激光幕速度测量系统,如图 7。

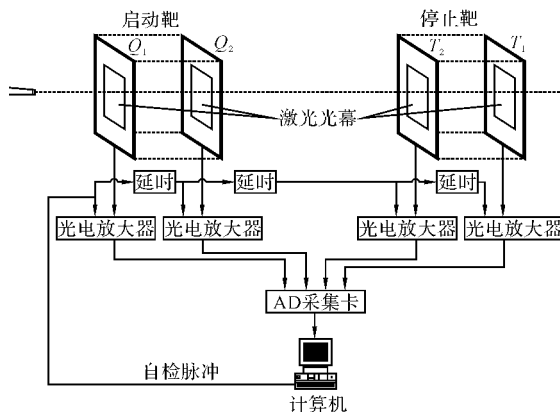


图 7 双启动、停止靶区截激光幕速度测量系统

激光光幕测速是通过测量高速飞行物体穿过两激光光幕间的时间间隔  $t$  及两光幕间的距离  $s$  而获得其中点的平均速度。 $Q_1$  与  $T_1$ 、 $Q_2$  与  $T_2$  分别形成一区截, $Q_1$  与  $Q_2$ 、 $T_2$  与  $T_1$  间的距离确定,且相等。弹丸飞行穿过各光幕区时,分别阻挡部分光线,光电探测器将变化的光通量转化成电流信号,经光电放大器放大到  $3 \sim 5\text{V}$  成为弹丸过靶信号,由 4 通道数据采集卡采集到计算机。精确测得  $Q_1$  与  $T_1$ 、 $Q_2$  与  $T_2$  间靶距  $S_1$  与  $S_2$ ,专用数据处理软件即可根据过靶信号波形的特点合理选择计时时刻,根据采样速率计算出被测物体飞行穿越  $Q_1$  与  $T_1$ 、 $Q_2$  与  $T_2$  间的时间间隔  $\Delta t_1$ 、 $\Delta t_2$ ,从而获得两个速度值  $v_1$ 、 $v_2$ 。由于两启动光幕间与两停止光幕间距离相等,由两套区截系统获得的实际上是同一中心点的平均速度值,系统可据  $v_1$  与  $v_2$  的一致性进行自比对,来确保测试数据的可靠。同时,两套区截装置同时工作,可避免某一光幕由于未知原因而未捕获到数据时导致的测试失败,尤其适用于试验成本高的测速场合。实测前,应对各个部件进行调试,确保系统正常工作。

### 4 结论

系统实验采用自主开发的,基于 Microsoft VC++ 程序编写的激光测速软件。该软件对数据处理能力强,能够满足高精度弹丸速度测试的需要。

测试软件每完成一次弹丸过靶测试,将会显示过靶波形和速度值。以下为三组  $7.62\text{mm}$  弹

丸速度测试波形及速度值,如图 8 所示。

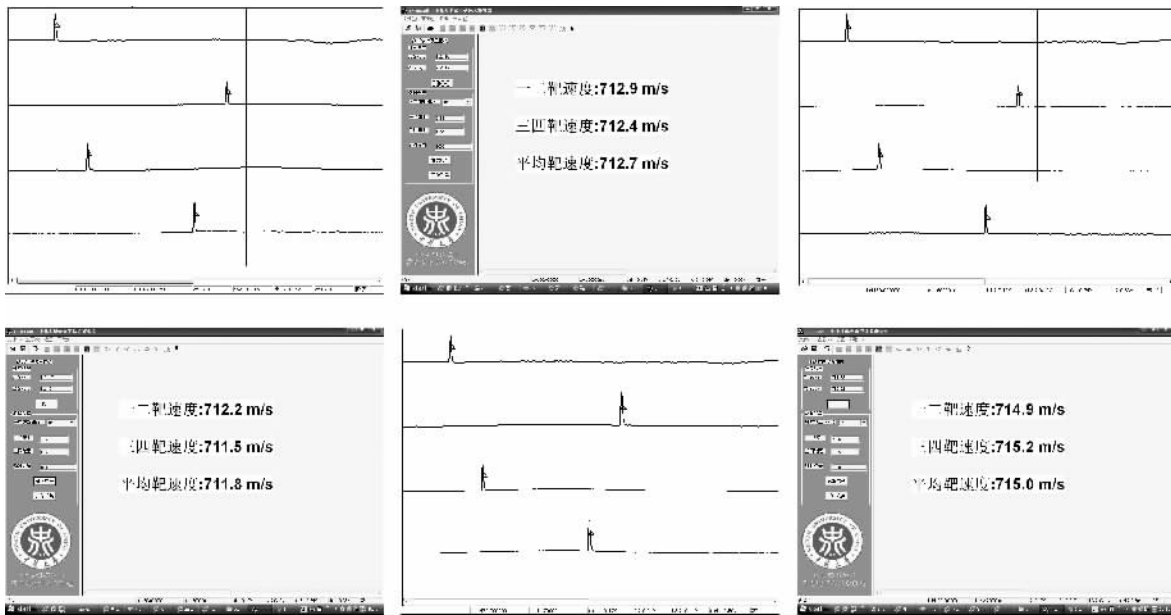


图 8 三组 7.62mm 弹丸测试波形及速度值

由实验数据可以看出,每一发弹丸在双光幕靶的速度值差别很小,其精度达到 7%以内。因此可以证明,系统可靠性高,性能优良,两靶对比精度高,偏差小,符合实际应用要求。

参考文献:

[1] 白兴满,炮用激光测速系统的设计[D].太原:中北大学,2003.

[2] 赵冬娥,周汉昌.一种新颖的激光测速靶[J].兵工学报,2002,11:23-26.  
 [3] 康建毅,喻俊志.激光测量子弹速度研究[J].激光与红外,2002,32(1):11-14.  
 [4] 浦昭邦.光电测试技术[M].北京:机械工业出版社,2004.

(上接第 231 页)

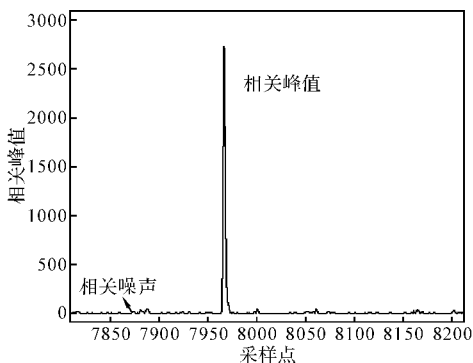


图 11 实测捕获相关峰值图

出采用伪码 100 支路并行捕获的方案,从而大大减少捕获所需的时间,有效地改善了系统的性能。同时,在 Altera 公司的 Quartus II 软件中,使用硬件描述语言 VHDL 和原理图相结合的方法进行了电路的设计实现。最后,把电路下载到 Altera 公司的 Stratix EP1S80B956C6 芯片中完成调试,测试结果表明该方法具有较快的捕获速度和较好的捕获性能。

参考文献:

[1] 王伟,徐定杰,沈峰.一种大步进伪码快速捕获方法的研究[J].哈尔滨工程大学学报,2006,27(5):721-727.  
 [2] 王凤宇.扩频码快速捕获算法的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.  
 [3] 陈实如,张京娟,孙尧.直扩系统伪码序列串并组合捕获方案[J].哈尔滨工程大学学报,2003,24(1):54-59.  
 [4] 孙礼.GPS 信号捕获与跟踪策略确定及实现[J].北京航空航天大学学报,1998,24(5):506-509.  
 [5] 李洪伟,袁新华.基于 Quartus II 的 FPGA/CPLD 设计[M].北京:电子工业出版社,2006.  
 [6] 褚振勇,翁木云.FPGA 设计及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2002.  
 [7] 朱近康.扩展频谱通信及应用[M].合肥:中国科技大学出版社,1993.  
 [8] 查光明,熊贤祚.扩频通信[M].西安:西安电子科技大学出版社,1990.