

文章编号:1001-5078(2007)12-1299-04

光电靶抗干扰性能优化设计

梁金辉,赵冬娥,董娟,韩乐一,王斌

(电子测试技术国家重点实验室,中北大学信息与通信工程学院,山西太原 030051)

摘要:火光或环境光会使光电靶产生误触发信号或是不能捕捉住弹丸的过靶信号,影响测试的准确度和灵敏度。提出光电靶的总体设计方案,激光器功率的选择的推导过程以及光电补偿电路设计。实验采用 650nm 波长的 PIN 光电二极管发出激光形成大面积光幕,经过遮光罩、干涉滤光片等光学器件和特殊的光电转换电路组成的光电靶测速系统测试弹丸的创伤性。在实验室对新型的光电靶系统用投掷实物进行模拟仿真,最后通过实弹测试结果表明采用抗干扰措施组成的光电靶测速系统能有效地抑制环境光和火光的干扰。

关键词:电流补偿;光电靶;速度测量;弹丸

中图分类号:TN973.3 **文献标识码:**A

The Optimization Design of Photoelectric Target Anti-jamming

LIANG Jin-hui, ZHAO Dong-e, DONG Juan, HAN Le-yi, WANG Bin

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, School of Information and Communication Engineering, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Firelight or ambient light will bring an error trigger signal or can not capture the shot off target signal. These may affect accuracy and sensitivity of the system. It brings forward the overall design of the photoelectric velocity measurement system, the selection of laser diode power, and the design of the photo compensation circuit. Using the wavelength of 650nm PIN photodiode to form the large effective screen area, laser screen velocity measurement system comprised of lens hood, interference filter and special photoelectric conversion circuit measure execution of projectile. Then analyze the measurement system by simulation in laboratory. At the end, it is proved the usability of the suppression of ambient light and flames interference through the ball firing.

Key words: current compensation; photoelectric target; velocity measurement; projectile

1 引言

弹丸飞行速度是弹道特性的重要参数之一^[1]。在创伤弹道学上,为了研究小钢珠对人体的创伤程度,需要对其穿过实验对象前后的速度进行测试^[2]。子弹速度的测试方法繁多,而光电靶采用了人工光源,不受自然条件的限制,灵敏度和测试精度高。

炮口火光很强或弹尾携带火光的弹丸穿过光幕时也会引起光敏管的大幅度响应,影响弹丸过靶波形中的特征点,使测试精度降低,甚至淹没弹丸过靶信号;同时,环境光过大会使探测器处于饱和状态而没有信号输出。所有这些直接影响了光电靶测试数据的可靠性。本文提出一种抗干扰光电靶的设计方法,并采用一系列抗干扰光的措施,抑制干扰光对测

试信号的影响。

2 光电靶总体设计方案

光电靶测速系统由半导体激光器、光学系统、光电探测器、处理电路及机械结构五部分组成。光电靶整体系统结构原理图如图1所示。

为了提高测试可靠性,系统由 Q_1 与 T_1 、 Q_2 与 T_2 分别形成一区截装置, 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,光敏管将变化的光通量转化成电流信号,经光电放大器放大形成弹丸过靶信号,由4通道

作者简介:梁金辉(1980-),男,硕士研究生,主要从事动态测试及光电检测和通信技术研究。E-mail:liangguxing@sohu.com
收稿日期:2007-06-14;**修订日期:**2007-08-30

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穿过 Q_1 与 T_1 、 Q_2 与 T_2 间的时间间隔 Δt_1 、 Δt_2 , 从而获得两个速度值 v_1 、 v_2 。

系统根据 v_1 与 v_2 的一致性进行自比对, 确保测试数据的可靠性; 两套区截装置同时工作, 避免某一光幕由于未知原因未捕获到数据而导致测试失败。实测前, 计算机发送一定宽度的自检脉冲, 经过一系列处理, 使整个系统的各个环节都得到自检, 确保系统状态正常。

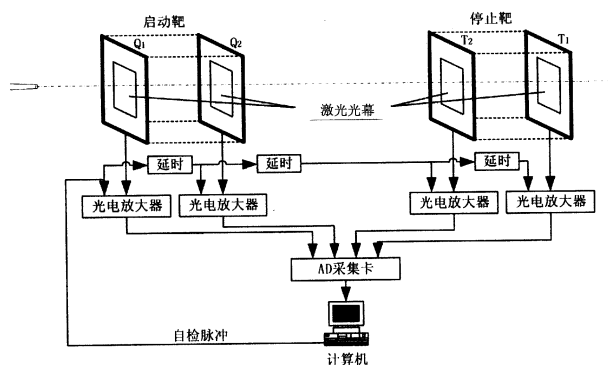


图1 新型激光光电测速系统原理图

Fig. 1 the principle of the system

每一光幕的形成如图2所示。激光器在其驱动电路的驱动下发射激光, 准直后经柱面透镜扩束, 穿过激光出射孔形成扇形光幕, 入射玻璃微珠原向反射屏。带有剩余发散角的反射光线再经滤光片原向反射回光敏面上。当飞行物体通过光幕区时, 光敏探测器表面光通量变化, 经过信号调理电路形成弹丸过靶信号。

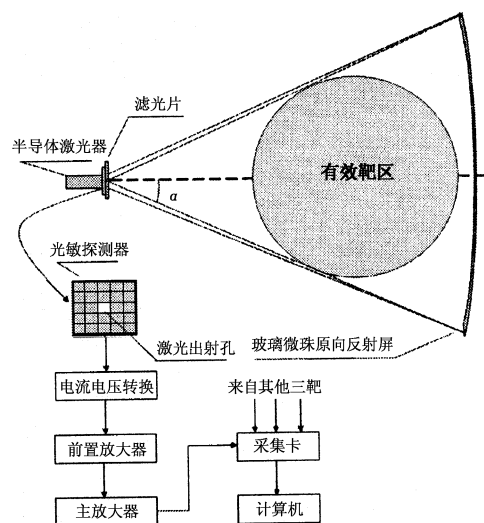


图2 原向反射屏式大面积有效光幕区的形成方法

Fig. 2 forming a large effective screen area based on retroreflector

3 干扰光抑制设计方案

测速系统包含大量分立光学元件, 产生很多杂

散反射光, 另外还有外界环境光和炮口的火光。这些杂散光到达探测器表面后, 将会对弹丸信号起干扰作用, 降低测试的灵敏度。以下四项措施抑制干扰光影响。

3.1 激光器的选择

弹丸动态电压信号的大小与光通量的变化成正比。激光器功率较大的情况下, 很容易使探测器处于饱和状态或经过后续信号调理电路产生较大的直流电压, 而使放大器工作于非线性工作区; 而激光器功率过小, 光通量的变化就很微弱, 光电探测器很难有响应, 从而测试不到弹丸信号。因此, 激光器功率的选择至关重要。

系统选用大面积硅探测器, 峰值波长在 800nm 左右, 而人眼可分辨光的波长范围为 360 ~ 780nm。为了便于调试, 在保证系统灵敏度的前提下, 选择波长为 650nm 的线型激光器, 实验测量证明其功率分布成高斯分布。

当弹丸穿过光幕时, 在探测器上引起的光功率的变化应为弹丸过靶位置上光功率密度分布对弹丸遮挡光积分的最大值。只考虑其反射率 M , 则由原向反射屏反射回来的光幕功率密度分布 F' 为:

$$F'(x, y) = MF(x, y) \quad (1)$$

设激光器扩束穿过光敏管中心孔后光斑直径为 w_0 , 光源距离原向反射屏为 L , 则直径为 $2r$ 的弹丸在有效光幕区内引起的最小光功率的变化为:

$$\Delta P_{\min} = \int_{L \tan \alpha - w_0}^{L \tan \alpha + w_0} F'(x, L) dx \quad (2)$$

信号调理电路原理如图2所示。设滤光片的透过率为 γ , 原向反射屏的反射率为 M , 光敏管的响应度为 S_{PD} , 前置放大级的反馈电阻为 R_F , 主放大器的放大倍数为 G , 则直径为 $2r$ 的弹丸在光幕区内各位位置穿越时引起的最小电压输出幅度为:

$$U_{\min} = \Delta P_{\min} \cdot \gamma^2 \cdot S_{PD} \cdot R_F \cdot G \quad (3)$$

设光电放大电路的输出噪声为 U_N , 令 $U_{\min} = U_N$, 则为:

$$\frac{P_{LD}}{\int_{-L \tan \alpha - w_0}^{L \tan \alpha + w_0} \exp\left[-\frac{x^2}{(L \tan \alpha + w_0)^2}\right] dx} \cdot \gamma^2 \cdot M \cdot S_{PD} \cdot R_F \cdot G \cdot \int_{-L \tan \alpha - w_0}^{L \tan \alpha + w_0} \exp\left[-\frac{x^2}{(L \tan \alpha + w_0)^2}\right] dx = U_N \quad (4)$$

该系统中 $L = 1\text{m}$, 柱透镜的发散角 $\alpha = 30^\circ$, $w_0 = 3\text{mm}$, $M = 7\%$, $\gamma = 40\%$, $S_{PD} = 0.5\text{A/W}$, $R_F = 30\text{k}\Omega$, $G = 50$, $U_N = 100\text{mV}$ 。确定在有效光幕区内可测弹径为 7.62mm 时所需激光功率 P_{LD} 。利用 MATLAB 软件在确定的条件下给出其数值解, 则:

$$F_L = \frac{P_{LD}}{\int_{-L \tan \alpha - w_0}^{L \tan \alpha + w_0} \exp\left[-\frac{x^2}{(L \tan \alpha + w_0)^2}\right] dx}$$

$$= \frac{P_{LD}}{\int_{-0.58}^{0.58} \exp(-\frac{x^2}{0.58^2}) dx} = \frac{P_{LD}}{0.866} \quad (5)$$

因此,激光光幕区 L 处的入射光幕的光功率密度分布为:

$$F(x, L) = \frac{P_{LD}}{0.866} \exp(-\frac{x^2}{0.58^2}) \quad (6)$$

则:

$$\int_{L \tan \alpha + w_0 - 2r}^{L \tan \alpha + w_0} \exp[-\frac{x^2}{(L \tan \alpha + w_0)^2}] dx$$

$$= \int_{0.57238}^{0.58} \exp(-\frac{x^2}{0.58^2}) dx = 0.00284$$

代入上述已知参数,计算得:

$$P_{LD} = 0.00363 \text{ (W)}$$

由于柱透镜的功率损耗、激光器与柱透镜封装时对发散光幕的宽度限制以及穿越光敏管中心孔时对激光光幕的限制损耗,因此引入比例因子 K 对理论值进行修正。根据实际系统的设计及实测值, K 值近似等于 8。因此,在有效光幕区任意位置的可测弹径为 7.62mm 时,激光器的出瞳功率应选择为 30mW。

3.2 滤光片

干涉滤光片起单色器作用。滤光片按光谱特性分为窄带、宽带和截止三种。

滤光片的透射光谱 T_λ 是单色光波通过滤光片后的强度 I_t 与入射光强 I_i 之比。其透射光谱函数是:

$$T_\lambda = \frac{I_t}{I_i} = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2 \frac{\phi}{2}} \quad (7)$$

式中, R 是介质膜表面的反射率; $\phi = 2\pi\Delta/\lambda = 4\pi nh/\lambda$ 是正入射或入射角很小时相邻两束相干光的位相差,其中, Δ 为相干光的光程差; n, h, λ 分别是介质膜的折射率、介质膜厚度和滤光片的透过波长^[3]。

在光敏管前放置中心频率为 650nm 的窄带干涉滤光片可以减少背景光及火光的干扰。滤光片虽然通带窄,但是在通带内透过率较低;激光器的发射波长随温度的升高向长波长方向移动,故滤光片的通带应考虑激光器可能偏移的波长范围。因此,选择窄带滤光片应综合考虑,不能片面强调窄带。

3.3 遮光罩

散射到探测器表面的杂散光使其探测能力和灵敏度下降,因此在探测器前面加遮光罩来减少杂散光的干扰。遮光罩设计的基本思想是:把杂散辐射能看作是由大量相互独立的能束光线组成,光线的发射位置和方向,到达反射面的吸收或反射,进入半透明部件后的吸收、折射或透射以及衍射等一系列

传递过程均由相应的概率模型确定。

遮光罩采用圆柱状结构设计,如图 3 所示。光线的散射是影响遮光罩效果好坏的重要因素,因此把遮光罩的一级消光部分 X_2 设计为反射面,二级消光部分 X_1 设计为吸收面。这样使光线在一级消光部分大部分就被反射出去,散射进入的光线在二级消光部分被吸收,最后到达探测器面上的光线就很少了。一级消光部分的设计是具有高反射率、低散射率的一组开口指向入射方向的锥面。

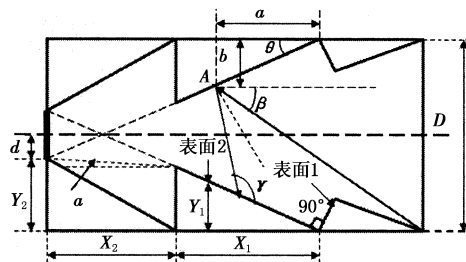


图3 遮光罩的圆柱状结构图

Fig.3 structure picture of reflect subuliform lens hood

当已知入射光角度 β , 通光孔径 d 和视场角 α 时,根据遮光罩的一系列条件约束关系就可设计出遮光罩的其他参数^[4]。 θ 越大,光线散射到二级消光部分的几率越小。但 θ 大小影响到遮光罩的尺寸,在遮光罩的一级消光部分设计两个或更多锥面可有效地减小其体积。表面1和表面2的夹角为 90° ,使到达这两个表面间的光线都按原方向的反向被反射回去,从而使到达这两个表面间的光线都不能直接反射到探测器面上。尽量减小表面1的面积,以减小光线反射、散射进入二级消光部分的几率。

3.4 直流补偿电路

光电转换电路把探测器产生的电流信号转换成电压脉冲信号。系统采用运算放大器组成对管差分补偿法,对探测器产生的直流信号进行补偿。其工作原理如图4所示。

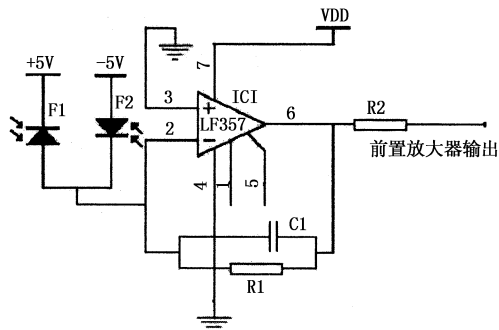


图4 差动工作的光电转换前置放大器电路

Fig.4 circuit of the photoelectric preamplifier of differential pattern

选用大面积PIN光敏二极管作为光电检测器件,以确保在实现大面积有效光幕区的同时,会聚光斑的全部接收。主探测器F1接收由原向反射屏返回的光,补偿探测器F2接收环境光,产生的两个信

号在前置放大器进行差分,以消除环境光的影响,同时也可以消除前置放大器的直流分量,增大动态范围。当弹丸穿过光幕靶的有效靶区时,阻挡部分光线,仍然由主光电探测器探测放大后形成弹丸过靶动态信号。

在测试装置中补偿探测器置于主探测器旁边并与其平行,以使两个探测器置于同样的工作环境中。用另一点状激光器经过毛玻璃散射后,光射到补偿探测器上。调节光源的光斑的大小、毛玻璃与补偿探测器之间的距离这两个因素可以有效地控制透射在补偿探测器上的光强,使其产生的光电流和主探测器产生的光电流相当,从而实现环境光或火光等杂散光的有效补偿,使光电转换电路的直流电压接近于零。

4 试验结果及分析

针对文中抑制干扰光措施,做一些验证性试验。首先,在室内,用日光灯产生的光作为干扰光,启动测试系统。光电转换电路输出连接到示波器上,示波器选用直流档,在示波器上观察电路补偿前后的电压输出值,看是否是直流电压得到了抑制。实验的波形如图5和图6所示。

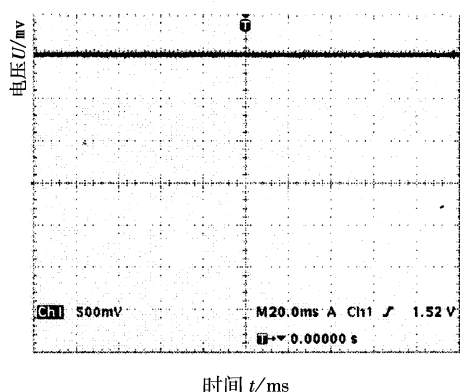


图5 补偿前的光电转换电路的直流输出电压
Fig.5 DC voltage of photoelectricity transformation part before compensation

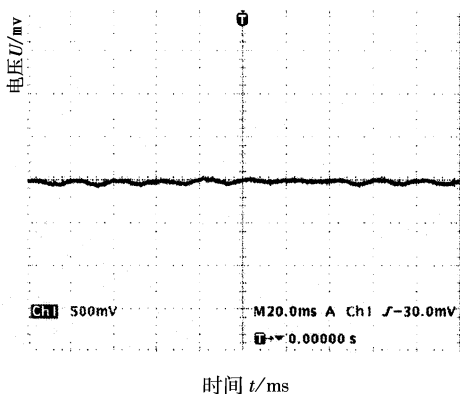


图6 补偿后的光电转换电路的直流输出电压
Fig.6 DC voltage of photoelectricity transformation part after compensation

然后用此采用干扰措施的光电靶测试系统,实弹测试其火光和环境光抗干扰性。

试验:对7.62mm枪弹的测试。测试条件为:反射屏距接收测试装置约3.2m,弹道线距接收测试装置约1.3m,1靶距枪口1.5m,2、3靶距离1.830m,1、4靶距离4.002m。所记录的7.62mm枪弹过两靶波形如图7所示。图中显示的是采集到2、3靶的弹丸过靶信号,所记录的过靶时间是2.48ms,可得到7.62mm枪弹的速度为737m/s。

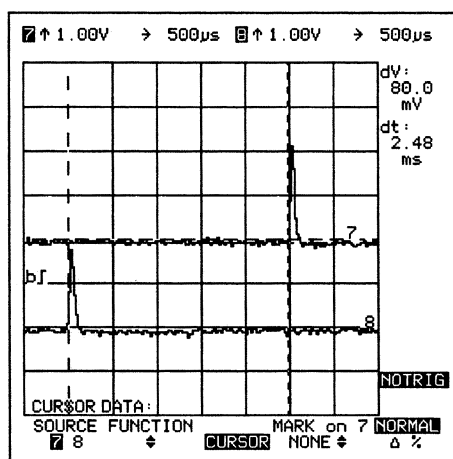


图7 实测7.62mm枪弹过靶波形
Fig.7 waveforms of signal as the 7.62mm bullet passing screen

通过试验可知,该测试系统的方案可以满足要求,从而验证了此光电靶的可行性。

4 结论

弹丸飞行速度是枪炮、火药生产研制单位的一个重要技术指标。利用此新型光电靶测试系统在实验室模拟干扰光投掷实物和对7.62mm弹丸速度进行了试验。证明采用光电补偿电路、增加遮光罩和滤光片、合适功率的激光器以及原向反射屏形成大面积光幕的光电靶测速系统能有效地抑制环境光和火光对弹丸动态信号测试的干扰,提高系统抗杂散光干扰的能力和系统对工作环境的自适应能力以及系统的灵敏性。多种对光干扰的抑制方法,使光电靶测速系统不受天气昼夜的影响,可全天候使用。

参考文献:

- [1] 杨雷,王铁岭,安莹.主动式红外光电靶的研究[J].现代电子技术,2004,3:52-55.
- [2] 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.
- [3] 梁杰民,郭宝平,杨欧,等.干涉滤光片在PCB机器视觉检测中的应用研究[J].科学技术与工程,2007(7):1048-1051.
- [4] 卢卫,李展.星敏感器遮光罩的优化设计[J].导弹与航天运载技术,2002,3:47-50.