

文章编号: 1001-3806(2008)05-0456-04

## 光电靶的设计与改进

梁金辉, 赵冬娥\*, 董娟

(中北大学 信息与通信工程学院 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

**摘要:** 为了测量枪、炮弹的速度, 提出一种基于光电转换的原理光电靶的设计方法。当光电靶工作时, 火光或是环境光会影响光电靶产生误触发信号或是不能捕捉住弹丸过靶信号, 影响了测试的准确度和灵敏度。采用新型的大面积激光光幕技术设计了光电补偿电路, 将其干扰光引起的变化的光电流信号补偿掉, 分析其原理, 并用实验方法验证了设计的正确性。最后实弹测试其系统的有效性实用性。结果表明, 新型的补偿电路测速系统能够有效地抑制干扰光的影响。

**关键词:** 测量与计量; 电流补偿; 光电靶; 速度测量; 弹丸

**中图分类号:** T J06 **文献标识码:** A

## Design and improvement of photoelectric target

LIANG Jinhui, ZHAO Dong'e, DONG Juan

(Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement of Ministry of Education, School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract** In order to measure the velocity of bullets, a photoelectric target design method is put forward. When the photoelectric target works, fire light 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. The basic principle of the photoelectric target was described using the large effective screen area technology and design of the photo compensation circuit. It can get rid of the signal that caused by ambient light interference. Experiments were performed to validate the correctness of the design. At the end, it is proved the validity and the usability of the system through the ball firing. As a result, the system of photoelectric target could resolve the effect of ambient light interference.

**Key words** measurement and metrology; current compensation; photoelectric target; velocity measurement; bullets

### 引 言

自 20 世纪 60 年代初激光问世以来, 激光在国防现代化领域已取得了广泛的应用<sup>[1]</sup>。光电靶是一种用于测试飞行弹丸速度的区截装置, 主要用在低伸弹道的弹丸初速测试中<sup>[2]</sup>。它既可以用于测试金属弹丸, 又可以用于测试非金属弹丸。由于采用了人工光源, 不受自然条件的限制, 灵敏度和测试精度高、操作简单, 在国内大部分靶场得到广泛应用。

由于光电靶采用光电转换原理<sup>[3]</sup>, 日光、火焰等的光辐射构成了测速装置的主要光干扰。这些光辐射主要是以背景光的形式出现的<sup>[4]</sup>。炮口火光很强时也会引起光电靶的光电接收器件反应, 从而输出一个非弹丸信号; 环境光的影响会使探测器处于饱和状态而没有信号输出。这些直接影响了光电靶测试数据的

可靠性, 这在测试中是需要避免的。由于光电靶的这一缺陷, 使其不能用于强火光近距离弹丸测速。作者提出了一种光电靶的设计方法, 采用新型的光幕技术设计了光电补偿电路, 可将干扰光引起的变化的光电流信号补偿掉。

### 1 光电靶的工作原理与设计

光电测速靶采用定距测时法原理, 它是弹丸在通过精确已知间距为  $\Delta s$  的两点时, 产生两个电信号, 并利用它们去控制测时仪器, 测出弹丸通过这段距离所需时间  $\Delta t$ , 然后根据速度定义公式  $\bar{v} = \Delta s / \Delta t$  计算出弹丸通过这段距离的平均速度<sup>[5]</sup>。

根据以上基本测速原理, 采用波长为 650nm 的激光光幕作为靶面, 设计了新型的光电靶。

此测试系统光电靶由激光器、光学系统、光电探测器、处理电路及机械结构 5 部分组成。光电靶的整体系统结构原理框图如图 1 所示。

为了提高测试可靠性, 光电靶测量系统常由两套区截光幕组成, 即  $Q_1$  与  $T_1$ ,  $Q_2$  与  $T_2$  分别形成一区截,

作者简介: 梁金辉 (1980-), 男, 硕士研究生, 现主要从事动态测试、光电检测和通信技术方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: zhaodong@mail.nuc.edu.cn

收稿日期: 2007-06-18 收到修改稿日期: 2007-11-12

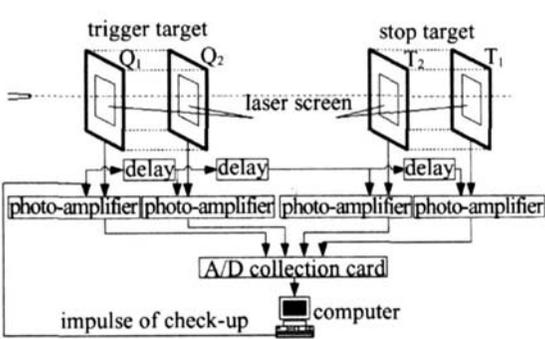


Fig 1 The principle of the system

$Q_1$  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  $3V \sim 5V$  成为弹丸过靶信号, 由 4 通道数据采集卡采集到计算机。

$Q_1$  与  $T_1$  间靶距为  $S_1$ ,  $Q_2$  与  $T_2$  间靶距为  $S_2$ , 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, 为了确保系统状态正常, 计算机发送一定宽度的自检脉冲调制半导体光源, 使输出光强有微弱变化, 光敏检测器件检测该变化, 经光电放大器、数据采集、软件处理, 使整个系统的各个环节都得到自检。

## 2 大面积光幕技术

近年来, 随着半导体技术的飞速发展, 半导体光源和半导体光敏检测器件被广泛的应用。先前的光电测试方法大多是采用半导体激光器、球面反射镜、带透镜会聚的光敏探测器件和原向反射屏形成有效光幕区, 但是这种设计结构比较复杂和笨重<sup>[6]</sup>。

本系统中选用半导体激光器、中心带激光出射孔的大面积光敏二极管阵列和原向反射屏形成大面积有效光幕区。如图 2 所示。

采用中心带有激光出射孔的大面积光敏二极管阵列作为光敏检测器件, 半导体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原向反射回光敏面上。当飞行物体通过光幕区时, 光敏检测器件探测该光通量的变化, 从而形成过靶波形。

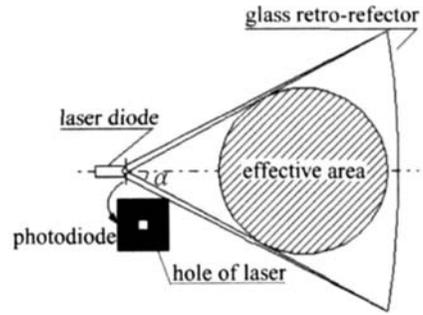


Fig 2 Forming a large effective screen area based on retro reflector

## 3 干扰光的电流补偿

环境光和火光的干扰容易使探测器饱和或放大器工作于非线性区域, 使光电靶工作不正常。因此, 应该对探测器产生的直流信号进行补偿。所设计的平行光幕测速系统中采用一种典型的光导型电流电压转换电路。光导型放大电路引入反向偏置电压, 有较高的响应速度<sup>[7]</sup>。

### 3.1 电流补偿电路

光电转换的目的是当弹丸通过光幕时, 能够产生一个电压脉冲信号。系统采用运放放大器组成对管差分补偿法。其工作原理如图 3 所示。

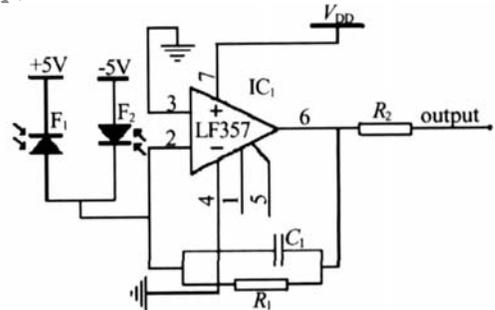


Fig 3 Circuit of the photoelectric preamplifier of differential pattern

主光电探测器  $F_1$  接收由玻璃微珠原向反射屏返回的信号, 利用补偿光电探测器  $F_2$  接收环境光 (包括太阳光和火光) 信号, 与主探测器的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级的直流分量, 增大动态范围。当弹丸穿过该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信号。

### 3.2 系统补偿的方法

光源、光敏检测器件的选择和光电放大电路的设计以及有效光幕区内的功率密度分布等将直接影响着整个系统的探测灵敏度、响应速度及稳定性。因此, 激光光幕测速系统中均选择半导体激光二极管和 PN 半导体光敏二极管或阵列作为电-光、光-电转换的主要器件。

若选用小面积光电探测器, 虽然响应速度会有所改善, 但一方面会使一部分反射光落在主光电探测器

光敏接收面之外,捕捉不到信号;另一方面容易使小面积光电探测器在静态时饱和,当弹丸穿过光幕时,光的变化量本身就很微弱,有可能还不足以使光电探测器脱离饱和状态,也就不会有响应。若选用大面积光电探测器能使反射光斑全部落在光敏面内,又不易饱和,但是响应速度会下降。为此,光电探测器的选型应当根据具体情况综合考虑。实验中选用了订制的两个  $27\text{mm} \times 27\text{mm}$  的大面积主光电探测器作为主探测器和补偿探测器,要求其响应速度优于  $0.1\mu\text{s}$ <sup>[8]</sup>。

为了消除环境光或是火光的干扰,选用此大面积 PN 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。补偿探测器和主探测器的面向应尽量保持一致,使差动作用充分实现。光电放大器主要由电流电压转换放大电路及主放大器组成,在电路设计及器件的选择上确保低噪声、高响应速度和高灵敏度。

激光光幕测速系统中每一光幕靶的组成分别如图 2 所示。激光器经光敏管中心的激光透射孔后,需经滤光片、原向反射屏,再经滤光片才能会聚到光敏管上,最后经光电放大器的放大形成弹丸过靶信号。光敏检测器件响应的光电流由低噪声、高转换速率的运算放大器 LF357 组成跨导前置放大级,实现电流电压转换及基础放大;其输出经电容隔直耦合送入一级跟随器,减小前置级的负载,起到对前置级的隔离作用;主放大器增益主要由 OP37 组成的反向放大器完成,将弹丸过靶信号放大到  $3\text{V} \sim 5\text{V}$ ,最后的跟随器提高电路带负载的能力。为了适应不同尺寸的弹丸应有同样范围的幅度输出,电路设置了灵敏度选择。

### 3.3 补偿探测器光路设计

补偿探测器和主探测器置于同样的工作环境中,在测试装置中置于主探测器旁边并与其平行,使其面尽量保持一致。用另外的一个线性点状激光器经过毛玻璃散射后,投射在补偿探测器上。调节点光源的光斑的大小、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激光器打在补偿探测器的光强,使补偿探测器产生的光电流和主探测器产生的光电流相

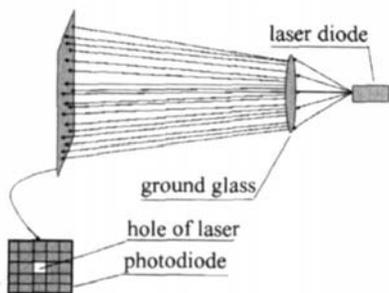


Fig 4 Laser beam path diagram of the compensation probe

当,从而实现了环境光或是火光的有效地补偿,使光电转换电路的直流电压接近于 0。补偿探测器的光路设计示意图如图 4 所示。

## 4 试验结果及分析

针对文中提到的光电靶改进设计,做了一些验证性试验。首先,在实验室内打开照明灯,启动光电靶测试系统。用示波器显示光电转换部分的输出电压,观察补偿后的电压输出与补偿前的电压值,看是否是直流电压得到了抑制。实验波形如图 5 和图 6 所示。

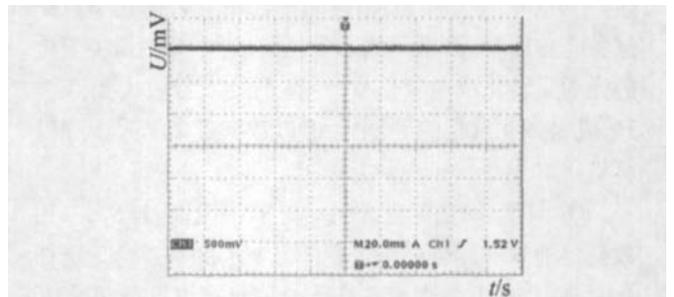


Fig. 5 DC voltage of photoelectricity transformation part before compensation

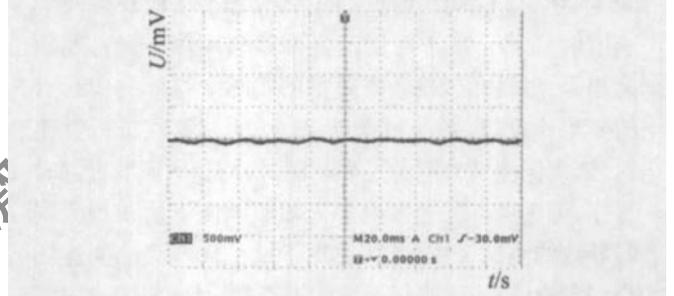


Fig. 6 DC voltage of photoelectricity transformation part after compensation

然后用此改进的光电靶测试系统,实弹测试其火光和环境光抗干扰性。

(1)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靶、3靶距离 1.830m,1靶、4靶距离 4.002m。所记录的 7.62mm 枪弹过两靶波形如图 7 所示。

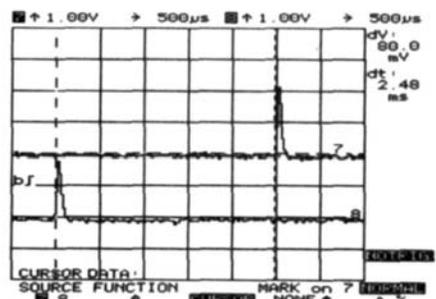


Fig 7 Waveforms of signal as the 7.62mm bullet passing screen

(2)对曳光弹过靶波形测试。测试条件为:反射屏距接收测试系统约 2.6m,弹道线距接收测试系统约 1.5m,靶距炮口约 8m。所记录 37 曳光弹过靶波形如图 8 所示。根据弹长 174mm 和所记录过靶波形的脉

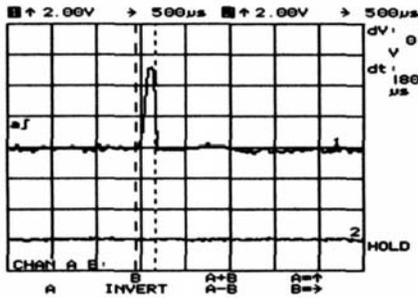


Fig 8 Waveforms of signal as the 37 light tracer passing screen

宽  $188\mu\text{s}$  可得到 37 曳光弹的速度约为  $967\text{m/s}$

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。

## 5 结 论

该光电靶测试系统可以全天候使用, 利用此测试系统对  $7.62\text{mm}$  弹丸、曳光弹的不同尺寸、不同速度范围及光干扰下的弹丸的速度进行了试验。证明采用补偿技术和原向反射屏形成大面积光幕的光电测试系统解决了环境光和火光对于系统的干扰, 提高了系统抗火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。不但可以实现对常规枪弹的速度进行测试, 而且可满足弹道散布范围大及大口径弹丸的速度测试需求。

## 参 考 文 献

- [1] AN X Q, ZHU B Q, NG R Sh. Detective power of photoelectric imaging system on  $1.06\mu\text{m}$  laser facula [J]. Laser Technology, 2001, 25(6): 441-445 (in Chinese).
- [2] NI J P, WANG T L. The principle and application of screens [J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 1997, 11(1): 31-36 (in Chinese).
- [3] LIU Q H, SHI H F, YAN B X. The infrared light screen system and accuracy analysis [J]. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(11): 1404-1411 (in Chinese).
- [4] SHI D H, LIU X J, HUANG G Q, et al. Study on transmission laser detection instrument for runway visibility [J]. Laser Technology, 2003, 27(5): 196-200 (in Chinese).
- [5] TANG B, WANG X Z, YAN H. Portable bullet velocity measurement system based on laser screen target [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2004, 26(6): 533-536 (in Chinese).
- [6] ZHAO D E, PAN G Z, WANG G. The establishment and optimization of mathematical models for the large effective area laser screen for velocity measuring [J]. Journal of North China Institute of Technology, 2000, 21(4): 283-285 (in Chinese).
- [7] ZHAO D E, HAO R T, REN Sh M. A large area photoelectric detector in high speed [J]. Journal of Test and Measurement Technology of National Capital Institute of Telecommunications, 1999, 13(4): 212-216 (in Chinese).
- [8] HAO X J, WANG G, DU H J, et al. Design of photoelectric detector system used in the triggering laser screens [J]. Journal of North China Institute of Technology, 2002, 23(3): 196-200 (in Chinese).

(上接第 455 页)

## 参 考 文 献

- [1] HAO R T, LIU H L. Ultraviolet detectors and their development [J]. Optoelectronic Technology, 2004, 24(2): 129-133 (in Chinese).
- [2] WANG Ch F, HUANG D Q, LOU D W. A method for measuring characteristics of broadband spectral response [J]. Optoelectronic Engineering, 2002, 29(1): 48-51 (in Chinese).
- [3] ROSENEWALD A, GERSHO A. Photoacoustic effect with solids: a theoretical treatment [J]. Science, 1975, 190(4214): 556-560.
- [4] HE J F, TAN Y. Development of photoacoustic imaging technology in biomedicine [J]. Laser Technology, 2007, 31(5): 530-533 (in Chinese).
- [5] ROSENEWALD A. Photoacoustic and photoacoustic spectroscopy [M]. Beijing Science Press, 1986, 307 (in Chinese).
- [6] KHANM I D, EBOLD G J. The photoacoustic effect generated by laser irradiation of an isotropic solid cylinder [J]. Ultrasonics, 1996, 34(1): 19-24.
- [7] ROSENEWALD A, GERSHO A. Theory of the photoacoustic effect with solids [J]. J A P, 1976, 47(1): 64-69.
- [8] YU Q X, LI Sh Ch, LIANG X P, et al. Study of sensitive photoacoustic spectrometer and biological application [J]. Laser Technology, 2001, 25(1): 15-18 (in Chinese).
- [9] SU G F, CHEN T, YUAN H Y. New model for a photoacoustic fire detection system [J]. Fire Safety Science, 2004, 13(4): 219-224.
- [10] WANG Y T, TIAN Q G, ZHANG Y Y. Study on  $\text{SO}_2$  optical fiber sensor based on photoacoustic effect [J]. Optical Technique, 2004, 30(1): 92-94 (in Chinese).
- [11] WANG X D, HUANG Z H, TANG Zh L. A practical photoacoustic spectroscopy experiment system [J]. Optical Instruments, 2006, 28(5): 52-56 (in Chinese).
- [12] Hamamatsu Corporation. The capability parameter of G5842[EB/OL]. [2007-11-01]. <http://sales.hamamatsu.com/index.php?id=13183672&language=&>