

doi:10.3788/gzxb20134208.0988

## 远距离实时监测炸点时间测量装置设计

查冰婷,张合,张祥金,谭亚运

(南京理工大学 智能弹药技术国防重点学科实验室,南京 210094)

**摘 要:**针对现有炸点时间测量装置无法及时显示炸点时间测量情况、测量误差大、不易滤除干扰信号的问题,提出以雪崩光电二极管作为光电探测器提高触发准确度,同时利用无线数据传输模块实时将弹体出炮口和爆炸的脉冲信号无线传输给远端的 PC 机,并直接以 PC 机计时代替传统计时电路提高计时准确度.设计了基于雪崩光电二极管的接收放大电路,组建了光电接收模块,输出的脉冲信号下降沿宽度小于 25 ns.无线数据传输模块中发射机与光电接收模块相连,接收机与 PC 机相连,通过发射机与接收机之间的无线通信,实现测量信息的无线传输,可在 1~3 km 外的 PC 机中实时显示脉冲信号及信号的北京时间,直观读取炸点时间,监测测量情况,滤除干扰信号.试验测量某试验弹的炸点时间为 124.056 ms,结果表明:该装置可有效实现远距离实时监测炸点时间,测量准确度达到 1 $\mu$ s.设计可为炸点时间测量装置的优化改进提供参考.

**关键词:**时间测量;光电探测;炸点;无线传输;雪崩光电二极管

中图分类号:TH714

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2013)08-0988-5

## Design on Device for Remote Real-time Monitoring Measuring the Burst Point Time

ZHA Bing-ting, ZHANG He, ZHANG Xiang-jing, TAN Ya-yun

(ZNDY of Ministerial Key Laboratory, NUST, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Aiming at the existent burst point time measurement device was unable to show the burst point time measurement situation and had a big measurement error, avalanche photodiodes (APD) were used as photoelectric detectors, wireless data transmission modules were applied to transmit burst signal timely and directly timed by PC instead of traditional timing circuits to improve timing accuracy. The amplifying circuit based on APD was designed, photoelectric receiver module was built, and the falling edge width of the output pulse signal was less than 25 ns. Of the wireless data transmission module, the transmitter was contacted to photoelectric receiver module, and the receiver connected with PC. Through the wireless communication between the transmitter and the receiver, the pulse signal when the ammo was outing of the muzzle and exploding was passed on to the PC that was 1~3 km away. The measurement situation was monitored real-timely, the burst point time was read intuitively, and interference signals could be artificially filtered. Measuring the burst point time of a test bomb, which was 124.056 ms, the results of the test experiment shows that the device is able to effectively realize remote real-time monitor the burst point time with high measuring accuracy. This design can provide a reference for the optimization and improvement of the burst point time measuring device.

**Key words:** Time measuring; Photoelectric detection; Burst point; Wireless transmission; Avalanche photodiode

基金项目:国家部委基金(No. 00404010503-3)和江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(No. CXLX12\_0208)资助

第一作者:查冰婷(1990-),女,博士研究生,主要研究方向为激光探测、水下激光传输. Email:zhabingting@163.com

导师:张合(1957-),男,教授,博导,主要研究方向为智能探测与控制技术、武器系统信息互联. Email:hezhangz@mail.njust.edu.cn

收稿日期:2013-03-19;录用日期:2013-06-14

## 0 引言

在靶场试验中,炸点时间是飞行弹体试验鉴定的重要性能指标之一,只有精确测量出这一数值,才能为脱靶参量的计算、引战配合性能的评估提供准确的时间数据<sup>[1]</sup>.测量系统通过捕捉弹体出炮口和爆炸时产生的冲击波、电磁辐射及发光现象来实现炸点时间测量<sup>[2]</sup>.目前炸点时间的测量主要方法有:目测法、声音和震动传感器探测法、光电测量法.由于光电法测量具有准确度高、抗干扰能力强、利于保护设备、便于实行自动控制和测量等优点而被广泛使用<sup>[3-5]</sup>.

现有的光电炸点时间测量装置将光脉冲信号处理后转换成电脉冲信号,利用计时电路记录两次脉冲的时刻并计算两次脉冲间的时间间隔即炸点时间,等待最终实验结束后再读取测量数据<sup>[1-3,6-7]</sup>.计时电路中由于数据存储时间的延迟,当测量试验弹的炸点时间时,由于其炸点时间非常短,很可能造成数据丢失,同时电路中的晶振频率不稳定也将引入计时误差.在测量中实验人员无法实时观测到光脉冲波形,以便在下次测试前根据测试情况及时对测试设备进行调整.对于试验中可能的背景辐射噪音和其他干扰,只能通过设定计时电路中的相关程序进行消除,无法结合靶场试验情况或是高速摄影视频对信号真伪进行人工判别,实验准确度不高,实验结果可靠性低.同时已有光电炸点时间测量仪中采用PIN(Positive Intrinsic Negative)光电二极管作为探测器,响应速度不够高,计时误差较大,探测距离近.

本文将无线数据传输模块应用于炸点时间测量

装置实时获取炸点时间测量情况,在测量出现问题时可及时调整测量装置并可记录弹丸出炮口和爆炸时刻的北京时间.结合靶场试验情况和高速摄像视频,对第一个脉冲的真实性以及干扰信号进行甄别,能准确获得炸点时间.在设计上消除了计时电路晶振引入的计时误差,避免数据存储时写入延迟可能导致的数据丢失,提高了计时准确度.采用雪崩光电二极管(Avalanche Photodiode, APD)作为光电探测器,设计相应的后续放大电路,输出的脉冲信号下降沿宽度窄,能够有效提高探测距离和触发准确度.

## 1 炸点时间测量装置设计

在弹体出炮口和弹体爆炸时,由于温度很高都会产生发光现象.利用光电接收模块捕捉这两次光脉冲信号,记录这两次脉冲信号间的时间间隔即可获得炸点时间.通过无线数据传输模块,将光电接收模块所捕捉的光脉冲信号,实时无线传输给远端的PC机,以实现远距离实时检测炸点时间.由于无线数据传输模块只能传输数字信号,而光电接收模块输出的是模拟信号,因此在光电接收模块和无线数据传输模块间需有信号处理模块.在无线数据传输模块和PC机之间,采用数字采集卡接收无线数据传输模块输出的信号并将数字信号恢复成脉冲波形.

图1是远距离实时监测炸点时间测量装置.整个装置包括五大模块组成:光电检测模块、信号处理模块、无线数据传输模块、数字采集卡和PC机.其中无线数据传输模块由发射机和接收机两部分组成,发射机和接收机之间可进行无线数字信号传输.

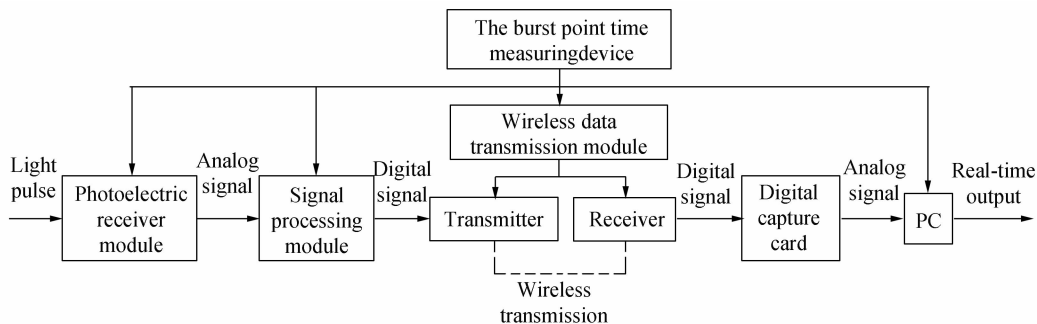


图1 远距离实时监测炸点时间测量装置

Fig. 1 Remote real-time measuring device for monitoring burst point time

## 2 光电接收模块设计

在炸点时间测量装置中,光电接收模块的功能是探测弹体出炮口和爆炸时的脉冲光信号,并进行放大滤波后生成一定幅值的脉冲电压信号,主要包括光电探测器、接收放大电路、光学系统和其他辅助

装置.

爆炸瞬时产物的光谱范围从紫外延伸到远红外,现有的光电探测器在近红外波段的响应速度快、灵敏度高,电路技术成熟.同时红外光波段处于“大气窗口”,衰减较小且不易受太阳光中紫外光的干扰,因此,选择890~915nm作为探测光波段<sup>[8]</sup>.

炸点时间测量系统的测量准确度取决于光信号的触发准确度和计时器的计时准确度. 由于计时过程中, 以电压跳变到所设定阈值判定开始或结束时, 在理论上电压跳变的过程不需要时间, 而实际上电压跳变过程需要一定时间即脉冲信号的上升沿或下降沿宽度, 这段时间称为触发准确度<sup>[9-10]</sup>. 为提高测量准确度, 要求脉冲信号的上升沿或下降沿宽度越短越好, 这就要求光电探测器响应速度快, 同时为保证测试装置安全, 探测器需于一定距离外探测, 接收到的信号较微弱, 故要求光电探测器灵敏度高, 能探测微弱信号. APD 由于内倍增效应, 其灵敏度较现有炸点时间测量装置中所用的 PIN 光电二极管

有大幅提升, 同时其响应频率也远高于 PIN, 满足炸点时间测量装置的需要<sup>[11-13]</sup>. 因此, 本设计中选用 AD500-9 型 APD 作为光电探测器, 其响应波长 890~915 nm, 响应时间 2 ns, 灵敏度 50A/W. 可见其响应时间短, 灵敏度高, 可大大提升测量装置的测量准确度和距离.

APD 对其工作电压和后续放大滤波电路都有很高的要求, 故针对 AD500-9 型 APD 设计其接收放大电路<sup>[14-15]</sup>. 在本设计中为降低功耗和减小体积, 采用分立元件设计接收放大电路. 图 2 是所设计的由低噪音高带宽 BJT 组成的放大电路原理图.

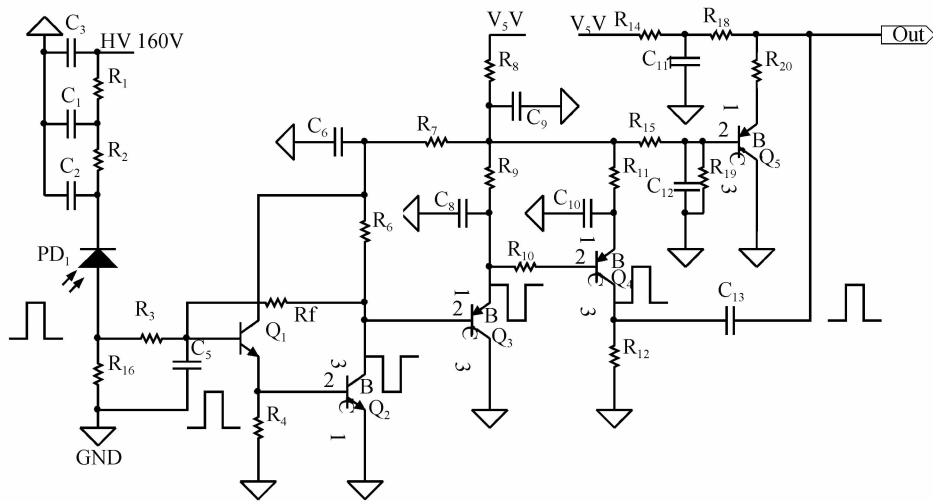


图 2 接收放大电路原理

Fig. 2 Schematic for receiving amplifying circuit

光脉冲信号经图 2 接收放大电路放大滤波后, 再通过比较器调制, 其输出脉冲波形如图 3.

安装配套的光学系统. 光学系统由聚焦透镜、滤光片和套筒组成, 结构示意图如图 4. 聚焦透镜、滤光片及接收放大电路从前到后依次均置于套筒内, APD 光敏面置于聚焦透镜的焦点位置.

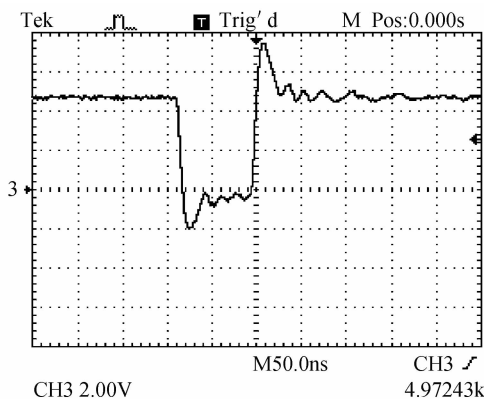


图 3 输出脉冲波形

Fig. 3 Output of pulse waveform

由图 3 可见, APD 接收放大电路输出的脉冲波形其下降沿十分陡峭, 下降沿宽度小于 25 ns, 远小于常用 PIN 放大电路输出脉冲波形  $\mu\text{s}$  级的下降沿宽度. 因此, 本设计能够有效提高炸点时间测量准确度, 可将计时误差控制在 1  $\mu\text{s}$  内.

光电探测器应用时为提高探测距离, 在前端需

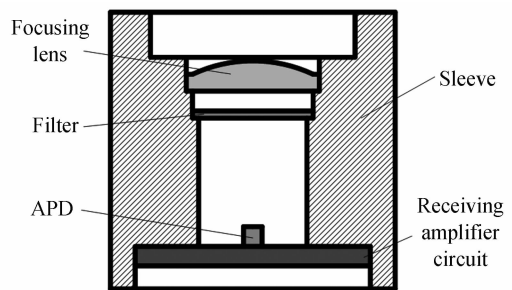


图 4 光学系统结构图

Fig. 4 The configuration diagram of optical system

### 3 无线数据传输

为屏蔽干扰信号, 光电检测模块与信号处理模块通过光纤连接. 信号处理模块的作用之一是将光电检测模块处理后的电压脉冲信号转换为数据信息; 二是控制无线数据传输模块的发射机将脉冲数

据发送出去;三是判别信号真伪.信号处理模块主要由 MAX961 高速比较器和单片机组成,其中:MAX961 高速比较器将模拟脉冲信号转换为 0/1 数字脉冲信号;单片机记录数字脉冲的高低电平,生成脉冲数据,并发出指令控制发射机发送数据.由于爆炸所产生的发光脉冲宽度在 20~100 ms 间<sup>[16]</sup>,信号处理模块仅通过脉冲宽度在此范围内的脉冲信号,以此滤除部分干扰信号.

无线数据传输模块是实现远距离实时监测的核心部分,用以实现远距离的无线数据通信.本设计中选用捷麦通讯器材有限公司生产的 D21DL 型无线数传模块,包括 D21DL 发射机和 D21DL 接收机,发射机与接收机传输距离为 1~3 km,发射机和接收机均安装天线.主要技术指标如下:数据传输延时 $\leq 100$  ms,灵敏度 $\leq 0.25$ ,失真度 $\leq 5\%$ ,能够满足炸点时间测量的准确度需求<sup>[17]</sup>.

发射机通过光纤线连接到信号处理模块,接收机通过 RS232 串口线连接到数字采集卡,数字采集卡与 PC 机之间用 USB 数据线连接.各模块及其连接如图 5.其工作原理是:发射机接收到信号处理模块发出的数据和发送命令后,执行命令,将需发送的数据送到发送缓冲区打成适合无线发送的数据包,并将这个数据包的数据送到数据调制口,通过天线以 FSK 的调制方式发射出去;接收机接收到发射机发射的数据包后,对数据包解包处理后传输给数据采集卡;数据采集卡根据接收到的数据恢复脉冲信号提供给 PC 机,在 PC 机软件界面的时间轴上实时显示脉冲波形.

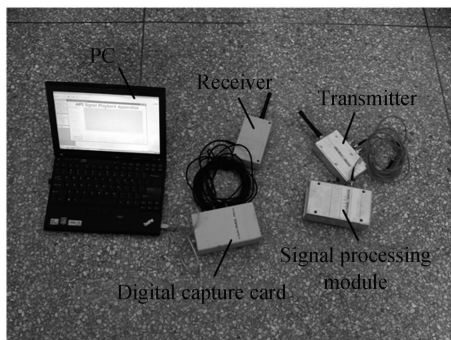


图 5 无线数传模块

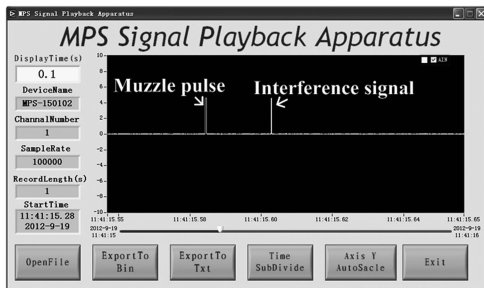
Fig. 5 Wireless data transmission module

利用无线传输,直接在 PC 机中完成计时与数据存储,避免了采用计时电路计时其晶振频率不稳定所引入的计时误差和数据存储延时可能带来的数据丢失,提升了计时准确度.

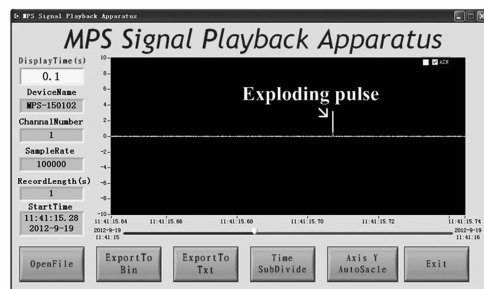
## 4 测试试验

对设计的远距离实时检测炸点时间测量装置进行测试试验,测量某型试验弹的炸点时间.试验时光

电接收模块、信号处理模块和发射机置于炮口侧后方 100m 处,接收机、数字采集卡和 PC 机置于 1 km 外的安全区.试验前,同步 PC 机时间与北京时间一致.试验过程中,PC 机软件界面的显示结果如图 6.



(a) Receiving muzzle pulse



(b) Receiving exploding pulse

图 6 测试试验结果

Fig. 6 Result of testing

由图 6 可见:在 11:41 分 15.585 秒时,PC 机接收到第一个脉冲信号即弹体出炮口脉冲;在 15.603 秒收到第二个脉冲,结合靶场环境可以判断该脉冲为干扰信号;在 15.709 秒时接收到第三个脉冲,此后再无脉冲,可以判断该脉冲为爆炸脉冲.结合软件生成的数据文件,读取各脉冲在秒以下的精确时间,弹体出炮口的时间为 585.642 ms,弹丸爆炸的时间为 709.698 ms,计算两次脉冲间的时间间隔为 124.056 ms,即本次试验的炸点时间为 124.056 ms.

通过试验结果可知无线数据传输模块能够有效地将光电接收模块探测的光脉冲信号传输实时传输给远端的 PC 机,并在 PC 机软件界面的时间轴上实时显示出脉冲波形,试验人员可直观获知弹体出炮口和爆炸的北京时间.通过最终数据文件可获得准确度在  $1\mu\text{s}$  的炸点时间.

试验后,可根据脉冲发生的北京时间,结合高速摄影记录视频,进一步排除干扰信号,准确判定弹体出炮口和爆炸的时间,提高测试结果的可靠性.

## 5 结论

本文提出了一种新型炸点时间测量装置,能够在远距离外的 PC 机上实时监测弹体出炮口和爆炸时的脉冲信号,并直观读取炸点时间,人工滤除干扰信号,同时通过避免引入计时电路中的晶振频率误

差,有效提高炸点时间测量准确度.选取 AD500-9型 APD 作为光电探测器,设计相应接收放大电路,提高光电接收模块的触发准确度和探测距离.为实现光脉冲信号的无线传输,采用无线数据传输模块将信号实时无线传输给 1~3 km 外的 PC 机,并设计相应信号处理模块.对设计装置开展测试实验,测量某试验弹的炸点时间为 124.056 ms.试验结果表明:该装置可有效实现远距离实时监测炸点时间,测量准确度高.该设计可为炸点时间测量装置的优化改进提供参考.

#### 参考文献

- [1] ZHANG Wen-wen, OUYANG Xian, BAI Yong-lin, *et al.* High-precision and high-reliability IR photoelectronic time measurement system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(1): 39-42.  
张稳稳, 欧阳娴, 白永林, 等. 一种高准确度、高可靠的红外光电时刻测量系统[J]. *光子学报*, 2007, **36**(1): 39-42.
- [2] ZHANG Wei-zheng, FU You-yu, WANG Bing. Research on recording detonation process of the long-range munitions bursts[J]. *Journal of Changchun University of Science And Technology*, 2003, **26**(3): 95-98.  
张伟政, 付有余, 王兵. 远距离炸点爆轰过程记录方法[J]. *长春理工大学学报*, 2003, **26**(3): 95-98.
- [3] CAI Hua-Yu, ZHANG Wei, HUANG Zhan-Hua, *et al.* System for measuring the exploding point time based on self-adaptive threshold [J]. *Chinese Journal of Sensors And Actuators*, 2007, **20**(6): 1420-1423.  
蔡怀宇, 张伟, 黄战华, 等. 基于自适应阈值的炸点时间测量系统[J]. *传感技术学报*, 2007, **20**(6): 1420-1423.
- [4] WANG Hao-jing, WANG Jian-li, WANG Ming-hao, *et al.* Photoelectric measuring system with large field for cloud position determination[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, **18**(8): 1722-1731.  
王昊京, 王建立, 王鸣浩, 等. 大视场云层分布定位的光电测量系统[J]. *光学精密工程*, 2010, **18**(8): 1722-1731.
- [5] GOU Ning-yi, ZHANG Ke-shu. High speed digital phase-difference measuring methods simulation and implementation in phase-shift laser range finder [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, **41**(9): 2358-2363.  
缙宁祎, 张珂殊. 高速相位式激光测距数字鉴相方法仿真与实现[J]. *红外与激光工程*, 2012, **41**(9): 2358-2363.
- [6] SHU Ya, OUYANG Xian, BAI Yong-Lin, *et al.* Real-time acquisition and storage system for explosion flash pulse waveform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(8): 2112-2116.  
舒雅, 欧阳娴, 白永林, 等. 爆炸闪光脉冲波形实时采集与存储系统[J]. *光子学报*, 2009, **38**(8): 2112-2116.
- [7] SHI Yu-xiang. High precision bomb point time auto measure instrument[J]. *Journal of Changchun University*, 2002, **12**(3): 1-4.  
石玉祥. 新型高准确度炸点时刻测量仪[J]. *长春大学学报*, 2002, **12**(3): 1-4.
- [8] YU Chang-qing, YAN Jun, LI Jia-ze, *et al.* Optical fiber spectrum measurement of the detonation temperature[J]. *Acta Armamentarii*, 2001, **22**(1): 70-73.  
于常青, 闫军, 李家泽, 等. 炸药爆轰温度的光纤光谱测量方法[J]. *兵工学报*, 2001, **22**(1): 70-73.
- [9] WU Zhao-yang, CHEN Zhi-gang, XUE Chang-jiang, *et al.* Experimental research on GaAs photoconductive semiconductor switches triggered by laser diode[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2012, **24**(3): 635-638.  
吴朝阳, 陈志刚, 薛长江, 等. 激光二极管触发光导开关实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 2012, **24**(3): 635-638.
- [10] DI Hui-ge, HUANG Geng-gua, SHU Rong, *et al.* Detecting equation of spaceborne laser rangefinder to particle-target[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(4): 526-528.  
狄慧鸽, 黄庚华, 舒嵘, 等. 星载激光测距系统点目标探测方程研究[J]. *光子学报*, 2011, **40**(4): 526-528.
- [11] XU Guang-hui, CHAI Guang-yue, PENG Jin-hua, *et al.* High frequency analysis of to packaging for high-speed avalanche photodetectors[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(2): 240-243.  
徐光辉, 柴广跃, 彭金花, 等. 高速雪崩光探测器同轴封装的高频分析[J]. *光子学报*, 2012, **41**(2): 240-243.
- [12] YU Xiang-dong, ZHANG Zai-xuan, ZHU Hai-zhong, *et al.* An intelligent temperature compensating circuit for distributed optical fiber raman temperature sensor[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(12): 1870-1874.  
余向东, 张在宣, 祝海忠, 等. 采用智能温度补偿电路的分布式光纤喇曼温度传感器[J]. *光子学报*, 2011, **40**(12): 1870-1874.
- [13] YIN Li-ju, CHEN Qian, GU Guo-hua, *et al.* Detection and imaging of target in photon counting mode[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2011, **23**(3): 821-825.  
尹丽菊, 陈钱, 顾国华, 等. 光子计数模式下的目标探测与成像[J]. *强激光与粒子束*, 2011, **23**(3): 821-825.
- [14] FENG Ying, ZHANG He, ZHANG Xiang-Jin, *et al.* Real time compensation of laser detection system APD [J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology (Natural Science)*, 2010, **34**(6): 787-791.  
冯颖, 张合, 张祥金, 等. 激光探测系统雪崩管实时补偿研究[J]. *南京理工大学学报(自然科学版)*, 2010, **34**(6): 787-791.
- [15] ZHA Bing-ting, ZHANG He, WANG Jun-hong, *et al.* Design of amplifying circuit for receiving weak signal for laser fuze[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, **300-301**: 1012-1017.
- [16] HUANG Zheng. Study on pulse laser ranging receiver circuit [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.  
黄震. 脉冲激光测距接收电路与计时方法研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2004.
- [17] Beijing Jiemai Communication Equipment Limited Company. SA68D21DL User's Manual.