

基于红外分级式扫描的立定跳远成绩评判装置

黄禹佳, 严海卫, 朱立明, 徐寅林

(南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 作为一项典型的体育运动,立定跳远动作实现简单,测试环境要求低,常作为体育测试的必考科目.传统的人工测量方法效率不高.本文提出一种新的立定跳远成绩自动评判装置,通过红外线扫描的方式来定位运动员最终落地位置以算出跳远成绩.系统将一定数量的红外对管分组,分别进行粗扫和精扫分级式扫描,实现快速、精确定位,兼顾了测量速度和精度的要求.

[关键词] 立定跳远, 评判, 红外线, 分级式扫描

[中图分类号] TM932 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)03-0030-05

Based Standing Long Jump Performance Evaluation Device Based on Infrared Hierarchical Scanning

Huang Yujia, Yan Haiwei, Zhu Liming, Xu Yinlin

(School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: As a typical sport, standing long jump action is simple. It requires low test environment and is often listed as a compulsory subject in sporting tests. The conventional measurement method is to observe the distance by the human eye, which usually causes deviations and is thus inefficient. A new device is designed to measure the jump distance automatically. It locates the athlete's final landing position via infrared in order to calculate the long jump landing scores. A large number of infrared tubes are divided into groups. The program adopts hierarchical scanning which combines cursory scanning with precise scanning for fast and accurate positioning, taking into account the measurement speed as well as accuracy requirements.

Key words: standing long jump, judgment, infrared ray, hierarchical scanning

无论在大、中、小学的各种体育测试,还是在《体育合格标准》、《国家体育锻炼标准》和新教材《体育与健康》的考试测试中,立定跳远都是必测项目之一.它是评价学生身体素质和运动能力的一项主要指标.因此,立定跳远得到广大师生的普遍重视^[1].传统的人工测量效率不高,时常会产生偏差.本文提出一种基于红外分级式扫描法的立定跳远成绩自动评判装置,测量速度快、准确性高.另外,采用红外作为检测介质,有以下优点:红外光是不可见光,检测时不会影响运动员的比赛发挥,且红外抗干扰能力强,使得整个测量系统比较稳定.

1 总体方案

本系统根据红外光幕原理,自动测量立定跳远距离.整个系统包括单片机控制系统、判断踩线犯规电路、红外扫描检测电路、显示电路,如图1所示.工作流程如下:运动员站在起跳处起跳,在起跳线处有一路单独的红外对管用于判断是否踩线犯规.运动员落地时,地面的红外检测区域光路被遮挡,取被挡光路中最靠近起跳点的那一路最终算出立定跳远成绩,运动员跳完向前行走离开此区域,记录成绩.系统等待下一位运动员到起跳点进行测量(测量模型如图2所示).

收稿日期:2014-05-16.

基金项目:南京师范大学大学生实践创新项目“基于红外光幕技术的立定跳远成绩自动评判装置的研究与设计”.

通讯联系人:徐寅林,博士,教授,研究方向:精密仪器设计. E-mail:xyulin@njnu.edu.cn

定位检测部分采用红外对管,有光电转换定律

$$i(t) = \frac{e\eta}{h\nu} P(t),$$

式中, $P(t) = \frac{dE}{dt} = h\nu \frac{dn_{\text{light}}}{dt}$.

另外, $i(t)$ 是光电流, e 是光生电荷的基本单元, η 是探测器的量子效率, $h\nu$ 是光子能量, $P(t)$ 是光功率, E 是光能, n_{light} 是光通量. 可知, 电流与光功率成正比, 光功率与光通量对时间的导数成正比, 红外接收管等效为电流源, 电流大小受光通量控制^[2].

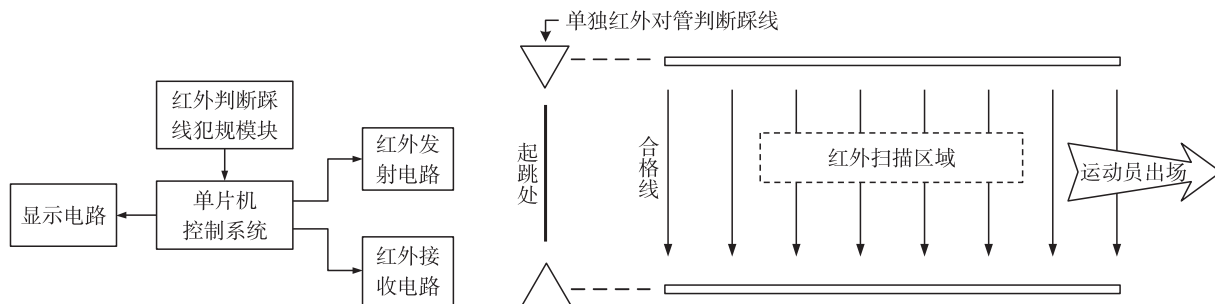


图1 总体方案

Fig.1 Overall program

图2 测量模型

Fig.2 Measurement model

2 电路模块及原理分析

硬件电路包括单片机控制核心以及红外发射电路、红外接收电路与显示电路. 电路图如图3、图4所示.

2.1 发射电路

发射部分由单片机控制 ULN2803 产生脉冲驱动红外发射管, 电路由 ULN2803 和红外发光二极管组成.

红外发射管采用一种规格为 5 mm、峰值波长为 940 nm 的高强度红外发光二极管. 为提高红外线作用距离, 应提高发射管的瞬时发射功率, 降低其平均功率, 采用一定占空比的窄脉冲发射是解决发射功率与作用距离的有效途径^[3]. 单片机输出占空比很小的方波来控制信号的发送. 由二极管资料可知, 当最大电流大于 100 mA 时, 要求脉宽小于 100 μ s, 占空比小于等于 1%. 由于红外管的驱动电流占空比很小但瞬时值很大, 因此驱动管采用高耐压大电流的达林顿管阵列芯片 ULN2803, 该器件在每个达林顿基极都串联了一个电阻以实现 TTL 和 5V CMOS 器件对其直接控制.

图3、图4中的每一个红外发射管都有一个红外接收管与之对应. 实际使用时, 沿运动员跳远方向, 红外扫描区域需要 2 m 左右距离. 为了确保测量精度, 各对红外收发管两两之间相隔 1 cm 左右排列, 工作时形成 1 cm 间隔的红外线光幕.

通过实验证明, 整个脉冲调制电路抗干扰性较好、检测灵敏度较高, 具体的检测距离可以根据实际需要调节^[4]. 实际系统中需要 200 对红外收发管才能满足要求.

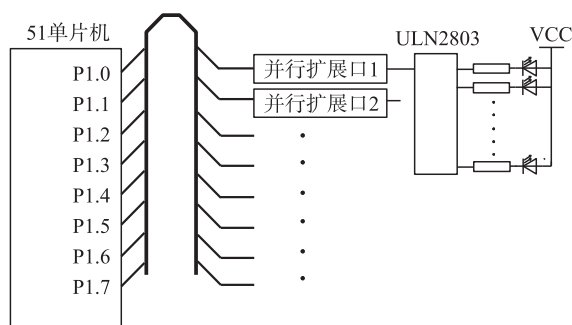


图3 发射电路

Fig.3 Transmitting circuit

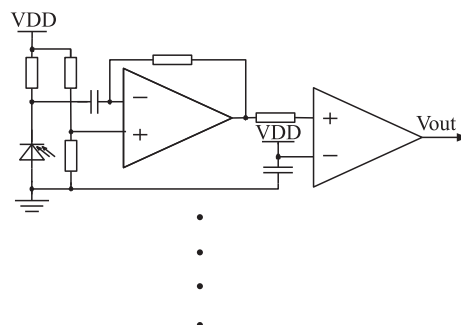


图4 接收电路

Fig.4 Receiving circuit

2.2 接收电路

工作原理: 当红外光电管接收到发射管的脉冲信号时, 光通量瞬间变化导致电流变化, 红外接收管通

过运放电路微分、放大信号,再通过阈值比较电路输出脉冲信号,送给单片机检测。

红外接收管采用一种规格为5 mm、峰值波长为940 nm的PIN型光电二极管,反向暗电流为5 nA, PIN-PD具有响应速度快、灵敏度高、线性较好等特点,适用于光通信和光测量技术^[5]。

当接收管的光通量发生变化时,其反向电流会发生变化,等效为接收管电阻的变化,由于接收管阴极通过偏置电阻接VDD,因此电压会发生变化。发射调制信号为占空比极小的脉冲,而此时接收管的输入电信号也是一个脉宽极小的脉冲信号,此信号通过电容耦合的方式送入运放微分电路,响应速度快,噪声低(暗电流影响小),输出不受光电流直流成分的影响[3]。运放的输出信号通过VDD的阈值比较电路可以去掉一些干扰信号,使得最终的输出信号比较纯净。由于发送端在发送红外脉冲信号时会引起的电源电压波动,这个电压波动会导致接收电路中红外接收二极管的偏置电压产生波动,经电路放大后产生误导通假象。为了避免这个现象,需要接收电路的红外接收二极管使用独立的6 V(VDD)稳压芯片供电偏置。

3 软件部分

3.1 软件简述

本设计的目的在于通过红外线测量最远距离,红外扫描是本设计的核心部分。采用51单片机最小系统作为控制模块,在设计时应当注意红外的相邻光路会产生交叉干扰,需设计光路同步识别电路来解决这一问题^[6]。本系统通过软件实现光路同步扫描,为了缩短扫描时间,提高响应速度,提出一种分级扫描的方法。流程图如图5所示。

3.2 分级扫描过程分析

为实现快速扫描,程序采用二级扫描机制。第一步为第一级粗扫描:将所有光路均分为 n 组,每组光路数 m 。进行第一级扫描时,挑选 n 组内相同次序的光路依次进行粗扫描。一旦跳远时发生光路遮挡,即可确定被挡光路所在的分组组号。第二步为第二级细扫描:对光路遮挡的组内 m 条光路逐个扫描,最终确定组内所有被挡光路中离起跳处最近光路序号,折算为距离即可得出结果。

为便于分析,仅以8路红外收发电路为例解释分级扫描算法。

给8路红外对管标号①、②、③、④、⑤、⑥、⑦(如图6所示)。

8路红外对管分两组,记为第1组和第2组,每组为4路红外光路,第1组:①、②、③、④路,第2组:⑤、⑥、⑦、⑧路。如图5将各组与起跳位置距离最大的光路记为代表光路。第一级粗扫描依次扫各组的代表光路:即第⑧路(第2组)和第③路(第1组),在粗扫描中,若发现某一组(比如是第1组)的光路被挡住,则进入第二级细扫描。对第1组而言:依次再扫第①、②、③路,取被挡光路序号的最小值①,即与起跳位置距离最小的光路,将其序号转换为距离,显示并记录。

若没有光路被挡,则转回第一级扫描重新检测。

扫描时,打开一路红外发射管,再检测对应的红外接收管检测光路是否被阻挡,每次只开通一路红外对管进行发射与接收的操作,不会出现相邻光路交叉干扰的情况,软件上实现了光路同步。

发送端窄脉冲调制信号的产生由定时中断实现。

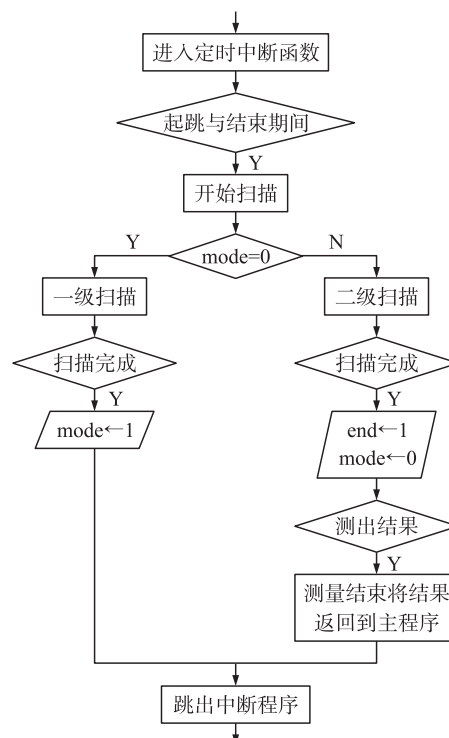


图5 流程图

Fig.5 Flow chart

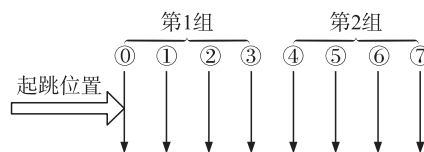


图6 光路编号图

Fig.6 Serial number of optical path figure

3.3 算法的优点

除采用 $100\ \mu\text{s}$ 的窄脉冲作为发射脉冲,还需考虑以下几个方面:(1)发射脉冲占空比应小于 1% (发射电路部分已阐述);(2)红外线的发射接收一般由中断控制,过于频繁的中断会影响单片机主程序的工作;(3)实际应用中,红外发射、接收电路通常采用光耦合隔离,以避免外围环境及电源的干扰.这种方式下,接收端信号的脉冲与发射端有一定的延时,且实际接收端波形下降沿会缓慢变化,这会对相邻的接收光路产生一点的干扰,为避免相邻光路之间的串扰,相邻光路的发射时间间隔应有一定的限制.实践证明当发射脉冲采用导通时间为 $100\ \mu\text{s}$ 、脉冲间隔时间大于 $5\ \text{ms}$ 时,相邻光路之间不会有干扰.

记脉冲间隔为 $T=5\ \text{ms}$,总扫描路数为 n ,若不分组全部采用一级扫描时间为

$$t_0 = n \cdot T.$$

实际应用中,立定跳远装置距离为 $1\sim 2\ \text{m}$,取量程 $2\ \text{m}$ 、分辨率为 $1\ \text{cm}$,光路总数为 200 路.全部采用一级扫描时间 $t_0 = 200 \times 5\ \text{ms} = 1\ \text{s}$. $1\ \text{s}$ 时间测试对象能移动相当大的距离,因此达不到实时性的要求.

若采用两级扫描,设每组为 m 路.对于分级扫描,第一级扫描只需检测 n/m 组中的代表光路,找到被挡的代表光路后进入该组的第二级扫描,从大序号开始往小序号扫,扫完一轮后取序号最小值.扫描时间大致为

$$t = \frac{n}{m} \cdot T + m \cdot T = \left(\frac{n}{m} + m \right) \cdot T.$$

一般情况下,普通人脚长 $>10\ \text{cm}$,挡住的路数超过 10 路.若以 10 路对管为一小组, $2\ \text{m}$ 范围为 20 组.两级扫描时间 $t = 5\ \text{ms} \times (200 \div 10 + 10) = 150\ \text{ms}$,系统反应时间大大减小,满足实时性的要求.

4 测试结果与分析

4.1 实测波形与结果分析

以 8 路红外光路为例,为便于波形的分析与理解,将第一级扫描与第二级扫描分开测试波形.即将系统分别固定工作在第一级扫描状态与第二级扫描状态下进行检测,而不是实际应用中的交替扫描检测.

对于第一级扫描,系统将循环扫描第①路(第 1 组代表光路)、第⑦路(第 2 组代表光路),直到有光路遮挡,此时周期为 $2 \times 5\ \text{ms} = 10\ \text{ms}$.对于第二级扫描,若是对第 1 组细扫描,系统将循环扫描第①、①、②、③路直到有光路遮挡,周期为 $4 \times 5\ \text{ms} = 20\ \text{ms}$.

图 7(a)和 7(b)是系统处于第一级扫描状态下研究的波形.图 7(c)和 7(d)是系统处于第二级扫描状态下研究的波形.以代表光路第③路的发射信号作为同步参考波形以便于分析.

图 7(a)和 7(b)分别为第一级扫描状态下第③路(第 1 组代表光路)未被遮挡和被挡住时的波形.图 7(a)是无光路被遮挡时第一级扫描第③路(第 1 组代表光路)的脉冲波形,上面行(1 通道)为第③路发射端检测到的周期性窄脉冲波形,该脉冲宽度 $100\ \mu\text{s}$,周期 $10\ \text{ms}$,该信号作为示波器双通道的 1 通道输入,作为双路同步信号.下面行(2 通道)为第③路接收管测到的接收波形.此时由于无遮挡,第③路接收端既能收到本组第③路发射的窄脉冲信号,也能收到第⑦路(第 2 组代表光路)交叉干扰信号.图 7(b)是第③路被遮挡时的波形图,上面行(1 通道)仍为第③路发射端脉冲波形,下面行(2 通道)为第③路接收端脉冲波形,由于第③路发射的红外信号被遮挡,因此接收端仅收到旁边第⑦路的斜射过来的信号.

图 7(c)、7(d)为第二级扫描状态下第 1 组内的光路情况,无光路被遮挡以及第②、③路同时被遮挡时第③路发射端以及第③路接收端的脉冲波形.图 7(c)上面行(1 通道)为第③路发射的周期性窄脉冲波形,此时脉冲周期为 $20\ \text{ms}$,将其作为同步参考波形,下面行(2 通道)为第③路接收波形.对于发射波形,每个周期内,依次扫描第①、①、②、③路,此时无光路被遮挡,第③路接收端依次接收到各路发射的信号.图 7(d)上面行(1 通道)仍为第③路发射的周期性窄脉冲波形(参考波形),下面行(2 通道)为第③路接收端波形.对于下面行,由于第②、③路均被遮挡,接收端只能接收到旁边第①、①路发出的斜射脉冲红外光.

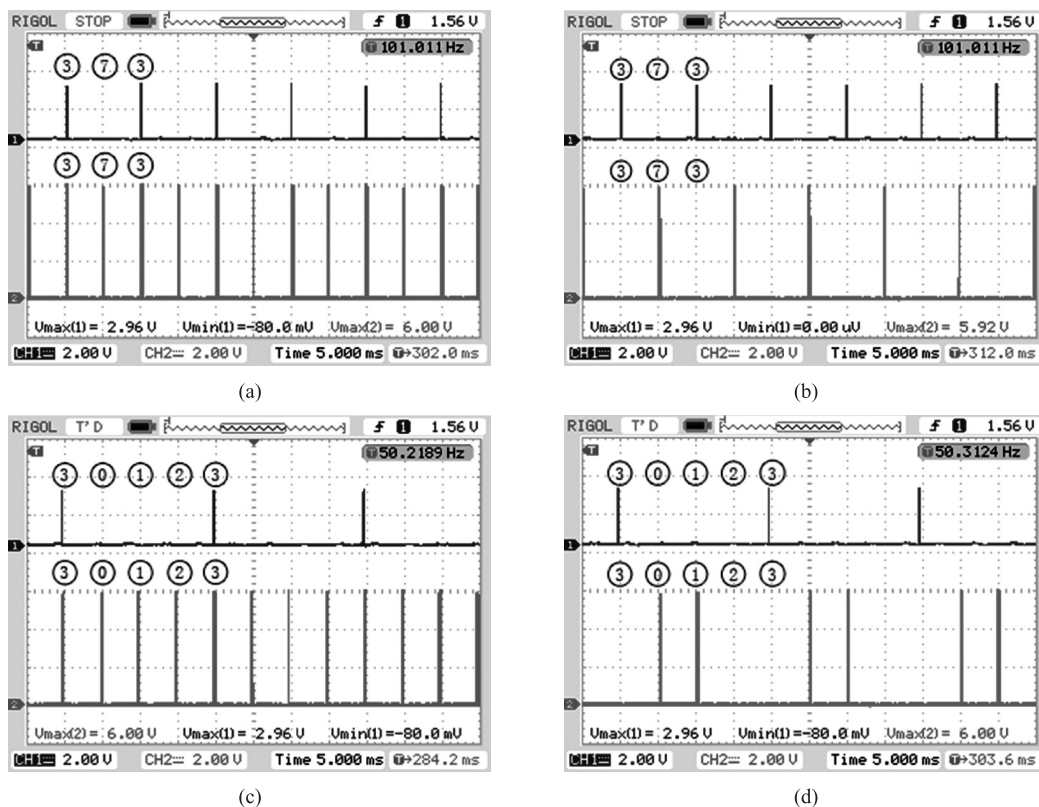


图7 波形图

Fig.7 Waveform diagram

4.2 测量精度的标定实验与结果分析

采用小范围8路对管的模型进行测试,放置该模型,标出起跳点,测试者在测试范围内多次跳远,每一次模型测量的同时使用米尺进行测量,测量精度为1 cm,米尺测量的结果采用去尾法进行处理.经测试,模型测量结果与米尺测量结果一致.本装置采用红外线进行测量,红外光影响测量精度的原因以及改进方法如下:

(1)为防止地表不平或有障碍物等原因对红外光路的干扰,红外对管与地面应有15 cm~25 cm的距离,该条件下测得的结果与真实跳远成绩存在一定偏差.将起跳踏板升高至红外测距光路的高度,可合理解决这个问题.

(2)相邻红外光路对管的排列间距影响测量精度,在制作电路时应当注意.相邻红外对管的间距严格按照1cm的间距进行制板,安装以及焊接对管时,同一路发射管与接收管要保持对齐,使得光路与测量距离方向垂直.倘若后期硬件较难调整可采用软件方法进行后期校正.

(3)具体测量时,为消除零位偏差,采用零位对齐法,放置测试模型时,第一路测量对管(即第1组①路)须严格对准合格线.

5 结语

本文设计了一个基于红外分级式扫描法的立定跳远自动评判装置模型.红外在脉冲的发射与检测由定时中断完成,与其他功能分开,更加稳定.光路的同步由软件实现,因此充分利用了单片机资源,简化了收发硬件电路,有利于降低生产成本,采用分级扫描的方法缩短了扫描时间,提高了测量速度,且测量范围更广,越能体现其速度上的优越性.

[参考文献](References)

- [1] 周莉,赵峰,马永涛,等.对立定跳远训练方法的研究[J].南京体育学院学报:自然科学版,2003,2(3):84-86.

(下转第44页)

- [4] Kumar A A, Makur A. Lossy compression of encrypted image by compressive sensing technique[C]//2009 IEEE Region 10 Conference. Singapore, 2009: 1-5.
- [5] Zhang X, Ren Y, Feng G, et al. Compressing encrypted image using compressive sensing[C]//International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Dalian, 2011: 222-225.
- [6] Xu T, Zhen Y, Shao X. Novel speech secure communication system based on information hiding and compressed sensing[C]//International Conference on Systems and Networks Communications. Porto, Portugal, 2009: 201-206.
- [7] Valenzise G, Tagliasacchi M, Tubaro S, et al. A compressive-sensing based watermarking scheme for sparse image tampering identification[C]//IEEE International Conference on Image Processing. Cairo, Egypt, 2009: 1 265-1 268.
- [8] 赵春晖, 刘巍. 基于分块压缩感知的图像半脆弱零水印算法[J]. 自动化学报, 2012, 38(4): 609-617.
Zhao Chunhui, Liu Wei. Block compressive sensing based image semi-fragile zero-watermarking algorithm[J]. ACTA Automatica Sinica, 2012, 38(4): 609-617.
- [9] 周燕, 曾凡智. 基于压缩传感的视频水印算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(6): 1 508-1 511.
Zhou Yan, Zeng Fanzhi. Video watermarking algorithm based on compressive sensing[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(6): 1 508-1 511.

[责任编辑: 严海琳]

(上接第34页)

- Zhou Li, Zhao Feng, Ma Yongtao, et al. Analysis of the training program of the standing long jump[J]. Journal of Nanjing Institute of Physical Education: Natural Science, 2003, 2(3): 84-86. (in Chinese)
- [2] 叶玉堂, 刘爽, 等. 红外与微光技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
Ye Yutang, Liu Shuang, et al. Infrared and Low Light Level Technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [3] 陈永甫. 红外辐射红外器件与典型应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
Chen Yongfu. Infrared Detection and Control Circuit[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. (in Chinese)
- [4] 周宇, 徐寅林, 李杰. ELISA测定中的定位检测及实时状态显示装置[J]. 自动化仪表, 2009, 30(5): 73-75.
Zhou Yu, Xu Yinlin, Li Jie. Positioning detection and real-time display device used in ELISA tests[J]. Process Automation Instrumentation, 2009, 30(5): 73-75. (in Chinese)
- [5] 贾伯年, 俞朴, 宋爱国. 传感器技术[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992.
Jia Bonian, Yu Pu, Song Aiguo. Transducer Technology[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1992. (in Chinese)
- [6] 凌秀泽, 孔逸敏, 徐寅林. 窄脉冲调理及光路同步识别的安全光幕电路[J]. 自动化仪表, 2012, 33(10): 46-48.
Ling Xiuzze, Kong Yimin, Xu Yinlin. Safety light circuitry circuitry based on narrow pulse conditioning and optical path synchronous identifications[J]. Process Automation Instrumentation, 2012, 33(10): 46-48. (in Chinese)

[责任编辑: 陈 庆]