

物理实验



基于 51 单片机开发的巨型光电数字计时系统演示仪

朱新培 邱欣平

(赣州市兴国平川中学 江西 赣州 342400)

(收稿日期:2020-10-27)

摘要:基于 51 单片机的巨型光电数字计时系统演示仪(以下简称自制演示仪)是以 STC89C52RC 单片机系统为核心,以 E3F-20C1 激光对射光电开关为触发传感器,以普通晶体石英钟和 3 寸 4 位 LED 数码管为显示模块的电路系统。

关键词:51 单片机 光电门 测速 误差分析

1 引言

随着时代的发展,传感器等数字化仪器已经普及到了各级各类学校的实验室,光电门和数字计时器组成的光电数字计时系统已经成为了物理实验室的标准配置^[1].用它们可以进行速度、加速度、计时、计数、周期和频率等物理量的测量.用这套系统组合其他的实验装置,可以完成如探究牛顿第二定律、动能定理、验证机械能守恒定律、用单摆测重力加速度、研究碰撞中的动量守恒等实验.然而由于光电传感器器件小、计时短、红外光束不可视等原因,导致很多学生对实验中的核心部分——光电门和计时器的工作原理却不甚了解,由此引发的实验误差更是一无所知.

基于这种情况,笔者设计并制作了一套巨型真人版的光电门演示系统,用于演示光电门的计时原理、测量平均速度、获得瞬时速度的原理、分析系统误差的产生原因及其应对方法.

2 系统框架设计

该演示仪的框架图如图 1 所示.用直径为 25 mm 的 PVC 水管做框架,拼接成一个高 2 200 mm,宽 900 mm,厚度 300 mm 的真人版门框①.门框左右两侧离地 1 900 mm 高处对称地安装一对激光对射传感器的发射器②和接收器③.为了方便调节激

光发射器和接收器对准,激光发射器和接收器都是用活动扣安装在两片竖直透明亚克力板上,亚克力板又是插在两根 PVC 水管所开的竖直槽中,并且也可以上下移动及左右微旋.在门框的一侧,设计了一个用透明亚克力板做成的盒子,把单片机系统和控制电路④、大尺寸的数码显示管⑤、晶体石英钟⑥整合在一起,悬挂在离地高 1 200 mm 处(其中石英钟的时针和分针被拆除,只留下了秒针,以方便计数,且在石英钟面罩上开了一条水平槽,方便每次计时前,用手指拨动秒针,让计时清零).为了演示计时、测平均速度和瞬时速度,制作了两块宽分别为 600 mm、100 mm 的安装有把手的白色挡光板⑦^[2].

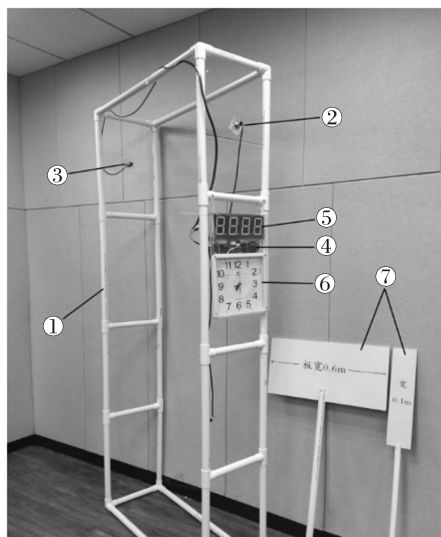


图 1 光电门演示仪框架图

3 电路设计及工作原理

本设计中主要采用的元器件有 E3F-20C1 激光对射光电开关、DC12 V 继电器(5 脚)、STC89C52RC 单片机系统、3 寸 4 位 LED 数码显示管、普通晶体石英钟、可调 LM2596 稳压模块。

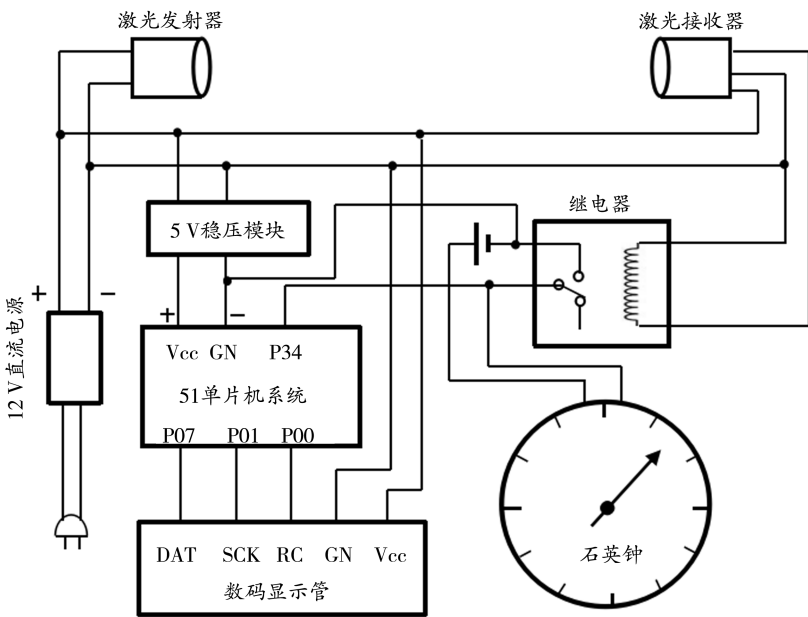


图 2 光电门演示仪电路模块图

当激光发射器发出的红色激光射向接收器,使接收器输出低电平.一旦激光被挡,接收器没有接收到激光时,接收器就会输出 12 V 高电平,触发继电器线圈通电,开关被吸合到上端触点,接通石英钟的干电池电源,石英钟开始计时,同时低电平信号也接通了单片机的 P34 脚(这里用的是 STC89C52RC 单片机系统,继电器常开时,P34 所连接的继电器开关处于悬空状态,单片机 I/O 口 P34 默认置高电平),当 P34 获得低电平信号时,启动单片机计时程序开始计时.当挡光板通过光电门,激光恢复对射,接收端输出低电平,继电器断开开关,石英钟断电,停止计时,同时单片机 P34 脚又恢复高电平,程序停止计时,通过单片机的显示驱动程序,可以在大尺寸数码显示管中实时显示激光对射传感器被挡住光的时长,这就实现了光电门的数字计时功能。

4 软件设计

自制演示仪的计时及显示程序用 C 语言编写,主要分成三大模块,一是信号触发单片机产生中断,

演示仪的电路设计如图 2 所示,电路主电源采用 12 V 直流电源供电,因为所选的激光对射传感器和大尺寸数码显示管的工作电压是 12 V 的,而单片机系统的工作电压为 5 V 的,所以电源又分一路通过一个 12 V 转 5 V 的降压模块给单片机供电。

启动定时器计时的程序;二是计时和数显值的转换模块,即要把从定时器所得到的计时数值转换为数码管要显示的时间数据(包括小数点);三是数码管显示的驱动程序,单片机通过串口通信驱动大尺寸(3 寸)4 位 LED 数码显示管.其主程序流程如图 3 所示。

5 主要用途

(1)模拟光电门计时测速

接通电源,打开开关,数字计时器和石英钟分别计时清零.首先让一位测试者双手高举挡光板,并使挡光板从激光接收器和激光发射器之间穿过,当挡光板挡住激光时,会看到在白色挡光板上有红色激光的光斑,同时数字计时器的数码管在计时,石英钟的秒针也在转动.当挡光板通过光电门后,数字计时器和石英钟都停止计时,我们可以通过数码显示管或石英钟表盘秒针指示读出刚才挡光板通过光电门所用的时间 Δt (石英钟精确到 1 s,而数字计时器精确到 0.01 s),求出此过程挡光板(宽度为 d)经过光

电门的平均速度 $v = \frac{d}{\Delta t}$. 然后探讨如何能更接近地测到瞬时速度,自然是要选用宽度更小的挡光板,测试者再次举 10 cm 宽的挡光板通过光电门,这样时间就会更短,只要时间足够短(Δt 趋近于零),由此测到的平均速度就可以替代此瞬间的瞬时速度了.

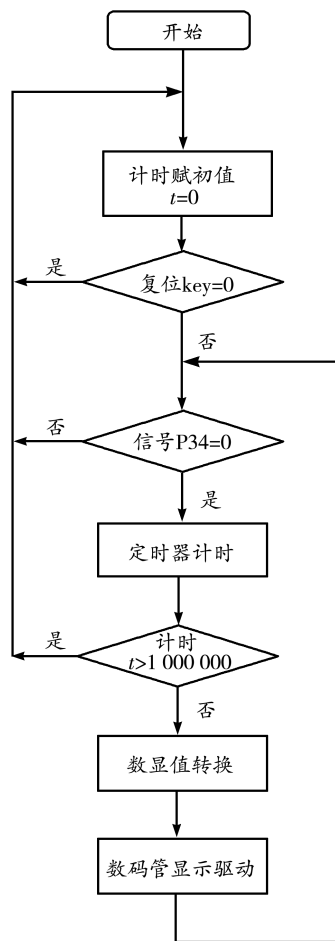


图3 光电计时流程图

(2) 研究光电门测速误差的产生原因和应对方法

在使用光电门进行的测速实验中,其实都会产生系统误差.这个误差是怎么来的呢?这是因为光电门中的光束照射到接收端,会形成一个面而不是一个点.挡光片只需要挡住一部分光斑,形成一个有效挡光面就可触发电平转换,从而导致所测时间 Δt 相对应的有效挡光距离 Δs 不等于挡光片的几何宽度 d .如图 4(a)所示,为方便对比观察,根据运动相对性原理,可以认为挡光片不动,光斑(直径为 D) 反向运动.设接收端在这束光被挡掉 X 宽度(位置 1)时触发,开始计时,且挡光片向右运动到刚好剩下 X 宽度的光束被挡住(位置 2)时停止计时.从开始计

时到停止计时,在这段时间间隔 Δt 内跟挡光片一起的物体运动的有效距离 Δs 不等于挡光片的几何宽度 d .由图 4 可得,实际运动距离 $\Delta s = d + D - 2X$.

若 $X < \frac{1}{2}D$,则 $\Delta s > d$,即实际运动距离大于理论运动距离,测量结果是 $v_{\text{实际}} > v_{\text{实验}}$;若 $X > \frac{1}{2}D$,则结果是 $v_{\text{实际}} < v_{\text{实验}}$,这样都会产生系统误差^[3,4].

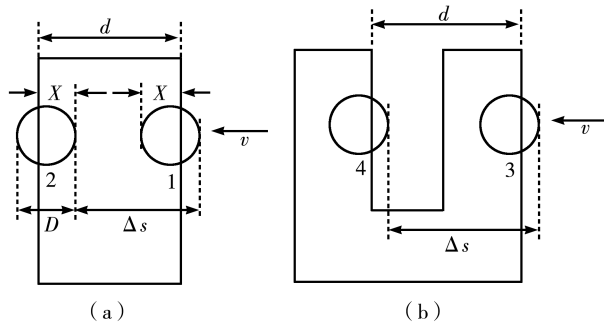


图4 实际挡光宽度对有效运动距离的图示

由于自制演示仪使用的是激光光源,所以在挡光片中能有效地形成可见的光斑,便于进行图 4(a)的误差分析.而传统的光电门是由一对红外发光二极管和接收二极管组成的,发出的红外光线肉眼不可见,无法发现产生误差的原因.

实践中采用双翼挡光片来替代单挡光片就能消除实验误差,如图 4(b)所示,以常用的 10.0 mm 规格的 U 型挡光片为例,其每个片翼宽度是 5.0 mm,两挡光片翼之间间隔也是 5.0 mm,只要把单片机计时程序改成第 1 次高电平向低电平跳变时开始计时,第 2 次高电平向低电平跳变时停止计时,即如图 4(b)中,光斑相对运动到位置 3 时开始计时,相对运动到位置 4 时停止计时,由于同一个光电门触发条件相同,显然有 $\Delta s = d$,与 X 的多少无关,不会产生系统误差^[3,4].

6 结束语

新课标下的高中物理教学,对中学物理教师提出了更高的要求,要求教师尽量通过实验为学生创设物理情境,通过让学生观察实验现象形成物理观念,并通过实验探究让学生掌握科学探究方法,形成良好科学思维.自制演示仪结构简单、装卸方便,操作简单、直观有趣,性能稳定、测量精度较高.作为一个演示仪器,能让学生有足够的参与度,提高学生学

(下转第 99 页)

析(续)[J]. 物理实验,2001,21(2):19~23

6 俞莹.“吞”或“吐”条纹数量对迈克耳孙干涉仪测量的

5 李慎安. 关注 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表

He-Ne 激光波长准确度的影响[J]. 物理通报,2016,35

示》新规范[J]. 工业计量,2013,23(3):49~50

(3):88~90

Computing the Uncertainty Degree of Measuring He-Ne Laser Wavelength Using Michelson Interferometer

Han Yulong Wu Pei Zhu Xiaobao Sun Jinfang

(General Education & Foreign Language College, Anhui Institute of Information Technology, Wuhu, Anhui 241003)

Abstract: The measurement of He-Ne laser wavelength with Michelson interferometer is an important physics experiment, meanwhile, it is difficult to calculate the uncertainty in teaching physics experiment. One simplified computing methods of uncertainty degree in this experiment is introduced with the data to be related. These may help students to understand how to calculate the uncertainty degree.

Key words: Michelson interferometer; He-Ne laser; uncertainty Degree

(上接第 95 页)

习兴趣,帮助他们更好地理解光电门测量平均速度、

瞬时速度的原理,又能直观地分析光电门测速产生

误差的原因,更好地理解使用双翼挡光片的原理.

2 列晓东. 基于 STM32 的向心力探究演示仪的研制[J].

物理实验,2017(4):59~62

3 盖双旗. 关于“气垫导轨实验中光电计时系统误差研究”

实验的探索[J]. 大学物理,2011,11(6):24~27

4 高立晟, 庄步科. 光电计时系统的误差研究[J]. 山东师

范大学学报(自然科学版),2000,15(2):201

参 考 文 献

1 陈毓华. 自制光电门做物理实验[J]. 物理教师,2008

(7):37~38

Developed Demonstrator of Giant Photo-electric Digital Timing System Based on 51 Microcontroller

Zhu Xinpei Qiu Xinping

(Xingguo Pingchuan Middle School, Ganzhou, Jiangxi 342400)

Abstract: the demonstration instrument for giant photo-electric digital timing system based on single-chip micro-computer. The demonstrator takes STC89C52RC Microcontroller system as the core, uses E3F-20C1 laser beam photoelectric switch as trigger sensor, and uses ordinary crystal quartz clock and 3-inch 4-digit LED digital tube as display module circuit system.

Key words: 51 microcontroller; photo-electric gate; speed measurement; error analysis