

线阵 CCD 在密立根油滴实验中的应用

陈 鸣*

(成都师范高等专科学校 彭县 611930)

【摘要】 根据计算机单片机技术与线阵 CCD 相结合的思想,运用线阵 CCD 电荷耦合器再现出密立根油滴实验应用的方法,为大学物理实验和现代工业自动化生产系统提供了全新的非接触线性长度测量的途径,充分展现了 CCD 技术在大学物理实验的生命力和应用前景。

关键词 电荷耦合器; 油滴实验; 单片机; 系统

中图分类号 TP368; O151.21

线阵 CCD 电荷耦合器件(Charge Coupling Device)从 70 年代初问世以来,已经取得了十分惊人的发展,已从实验室研究阶段进入实际应用时期。线阵 CCD 具有测量精度高、测量速度快、体积小、重量轻、坚固耐用等优点。当前,线 CCD 已广泛用于非接触线性长度测量系统中。

1 CCD 的组成和工作原理

线阵 CCD 电荷耦合器通常由光学系统(成像物镜)、CCD 传感器、CCD 脉冲驱动器、视频处理器和电源组成^[1],其原理框图如图 1 所示。

当被测物体的光学图像经过透镜 A 成像在 CCD 传感器上时,将产生与投射光强度相对应的光电荷。这些光电荷将存储在线阵 CCD 的光电二极管的势阱中,经过一段时间的电荷积累(通常为 0.5 ms ~ 5 ms),CCD 光敏元在移位脉冲的作用下,各光电二极管积累的电荷包向移位寄存器存储单元转移,为光电二极管的下次光电积累作准备。在 CCD 光电二极管阵列进行下次光电积累的同时,移位寄存器在水平读出脉冲的作用下,将寄存器内的电荷包沿移位寄存器向输出端口转移,从而实现光电信号的转换。由此输出的光电信号经过奇偶信号模拟相加,消除脉冲干扰,经过直流电平恢复与控制、线性放大、输出放大以及二值化处理等步骤的处理,得到一组全电视或数码信号,为进一步的信号处理作准备。

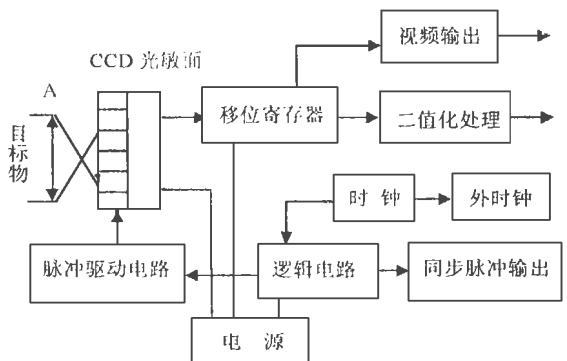


图 1 电荷耦合器(CCD)组成示意图

2 线阵 CCD 在密立根油滴实验中的应用

2.1 密立根油滴实验简述

密立根油滴实验在 1909 年首次对电荷作出精确测定,从而证明了电荷量的不连续性。

在密立根油滴实验中,密立根让油滴通过平板电容器上板的一个小孔下落,将一束光直射到两平行板之间,并用一个带有平行刻度标尺的显微望远镜或读数显微镜观察一个油滴的下落过程,并且精确测量出油滴在下落的垂直方向上的速度。在这个过程中油滴同时受到三种不同力的作用:重力、空气粘滞力、电力,通过对这些力的分析便可以得到一组力的表达式为

$$\text{重力} \quad F_g = \frac{4}{3}\pi a^3 \sigma g \quad (1)$$

$$\text{粘滞力} \quad F_r = 6\pi a \eta v \quad (2)$$

其中 a 为油滴半径; σ 为油滴密度; η 为粘滞系数。

对于一个已经达到其末速度为 v_0 的油滴,由阿基米德原理给出的向上浮力将可以忽略。因空气的密度比油滴小得多,斯托克斯研究过粘滞流体中对于一个匀速运动的球体所产生的阻力;在数值上即为 $F_r = 6\pi a \eta v_0$,如果向上的粘滞力和油滴重力相互平衡,则下式成立

$$F_g = 6\pi a \eta v_0 \quad (3)$$

2.2 油滴在电场中的运动

将一个电场 E 按重力的反方向加在平行板之间,使得油滴以末速度 v_1 向上运动,粘滞力自然

也将阻碍油滴的向上运动,如图 2 所示。如果这时油滴带电荷为 q ,那么当油滴达到其匀速 v_1 时,作用在油滴上的力也处于平衡,并满足如下关系

$$qE - mg = 6\pi a \eta v_1 \quad (4)$$

在式(4)中代入油滴 $mg = 6\pi a \eta v_0$ 有 $Eq = 6\pi a \eta (v_0 + v_1)$,从式(3)中求出油滴的半径 a 代入式(4)中,并求出油滴 q 所带电量

$$Q = \frac{6\pi}{E} \sqrt{\frac{9}{2} \frac{v_0}{\sigma g}} \eta^3 (v_0 + v_1)$$

因将电压 V 加在相距为 d 的两平板上而求出电场 E ,因而电场强度为

$$E = V/d$$

电荷为

$$Q = \frac{6\pi d}{V} \sqrt{\frac{9}{2} \frac{V_0}{\sigma g}} \eta^3 (v_0 + v_1)$$

从密立根油滴实验中得出,电子电荷似乎稍依赖于所用的具体油滴的大小和空气压力,密立根在对自已的实验结果进行具体分析时,发现斯克托斯定律对非常小油滴的不正确性,方程中的 η 必须除以一个 $(1 + b/pa)$ 因子来进行修正,其中 p 为大气压,单位为 Pa, a 为油滴半径,单位为 m,而 b 为一个常数,其数值为 6.71×10^{-6} 。经修正后的油滴电荷计算式为

$$Q = \frac{6\pi d}{V} \sqrt{\frac{9}{2} \frac{v_0}{\sigma g}} (1 + b/pa)^{-3/2} (v_0 + v_1)$$

从上式得出油滴所带电量 Q 的计算除有关量为定值外,油滴半径 a 和油滴运行速度 v_0 和 v_1 的测定是直接影响电量 Q 计算的关键。

2.3 CCD 线阵对油滴运动的测定

在密立根油滴实验中,由于油滴运行距离极为有限,可视标尺刻度精度与计时工具间同步性较差,准确测定 v_0 和 v_1 较为困难。为了较为准确地测定出油滴所带电量,实验中必须对多个油滴进行反复多次测量;油滴通过位移 s 和油滴通过位移 s 所花费时间 t 求出油滴匀速运行的平均速度 v_0 ,以及在电场力的作用下油滴 q 匀速运行的速度 v_1 。速度

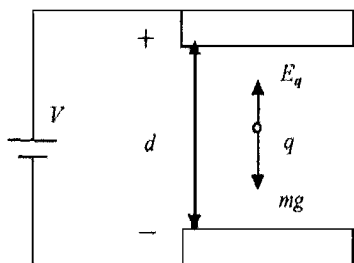


图 2 油滴在电场中的运动描述

$$v = s / t$$

反复多次测量既浪费时间又消耗精力影响了教学实验活动的正常开展。我们采用线阵 CCD 对油滴进行连续跟踪并测定油滴相对位移,用线阵 CCD 的采样周期作为定时单位,位移和时间的测定同步完成。油滴匀速运动速度的测定如下:在密立根油滴实验中,当某一油滴被选中,让其在受控 CCD 的视场中自由下落,由 MCS-51 单片机通过线阵 CCD 对油滴进行连续跟踪并进行油滴的位移测定,如果油滴在 CCD 连续跟踪采样周期内相对位移误差小于系统设置误差范围时,则可视此时油滴运动为匀速运动,并可通过下列公式计算出油滴匀速运动的速度

$$\text{速度} = \text{油滴的位移} / \text{CCD 采样周期}$$

计算油滴的重力场作用下匀速运动的速度,在本系统中为了较为准确地处理上一测量过程,在 MCS-51 单片机管理程序中已将油滴速度的计算过程以一段子程序方式固化于系统的 MCS-51 单片机 ROM 区中。这样做,减化了油滴速度的测量和计算过程,同时在电场力作用下油滴匀速运动的速度测量也可以用上述方式进行。

3 系统结构和软件流程框图

因该系统选用线阵 CCD 作为长度测量的传感器和定时器,完成密立根油滴实验的油滴直径 d ,油滴匀速运行的速度 v_0 和 v_1 的测定,基本结构框图如图 3 所示。

3.1 油滴运动的计算机执行过程

线阵 CCD 密立根油滴实验系统启动后,实验操作者通过 MCS-51 单片机控制键盘,发出控制命令,MCS-51 单片机在接受控制命令后,驱动密立根油滴实验仪油雾室电磁阀,喷出油滴,线阵 CCD 在喷口处采样捕获油滴,当油滴捕获成功,MCS-51 单片机关闭电磁阀并通过 LED 显示器显示出油滴 q 的直径。随即启动油滴跟踪服务子程序,由线阵 CCD 对油滴 q 进行连续跟踪,当油滴 q 相对位移 s 误差小于系统设置误差范围时,系统确认油滴 q 为相对匀速运动,

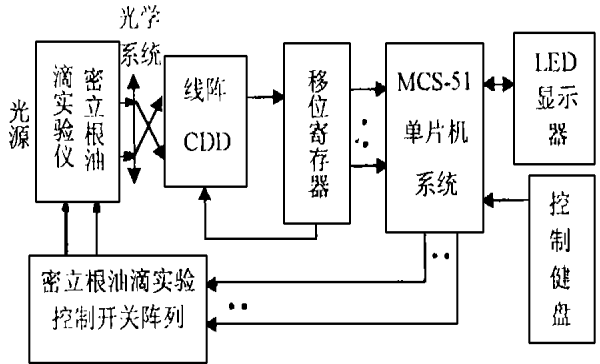


图 3 密立根油滴实验中的 MCS 单片机结构框图

MCS-51 单片机系统通过 LED 显示器显示匀速运动油滴 q 的速度 v_0 ,将该速度存入系统 RAM 缓冲区备用。

在系统测出油滴 q 在重力作用下匀速运动速度 v_0 后,MCS-51 单片机随即启动密立根油滴实验仪电场开关给油滴仪极板加上电场,让油滴 q 在电场力作用下,沿电场力方向移动,线阵 CCD 对油滴 q 进行连续跟踪,当油滴 q 相对位移 s 误差小于系统设置误差范围时,系统确认油滴 q 为相对匀速运动,MCS-51 单片机系统通过 LED 显示器显示出在电场力作用下匀速运动油滴 q 的速度 v_1 ,并将该速度值存入系统 RAM 缓冲区备用。

3.2 MCS 单片机的应用软件流程图

在 MCS 单片机分别测出油滴运动速度 v_0 和 v_1 后,系统进入电量 Q 的计算服务子程序算出油滴所带电量 Q ,并通过 LED 显示器显示出油滴所带电量 Q 值,其软件流程框图如图 4 所示。

当系统完成全数据的采集和计算整理、显示工作,系统返回初始状态,MCS-51 单片机按固有序设计,清理密立根油滴实验全部工作现场,为下一次实验作准备。

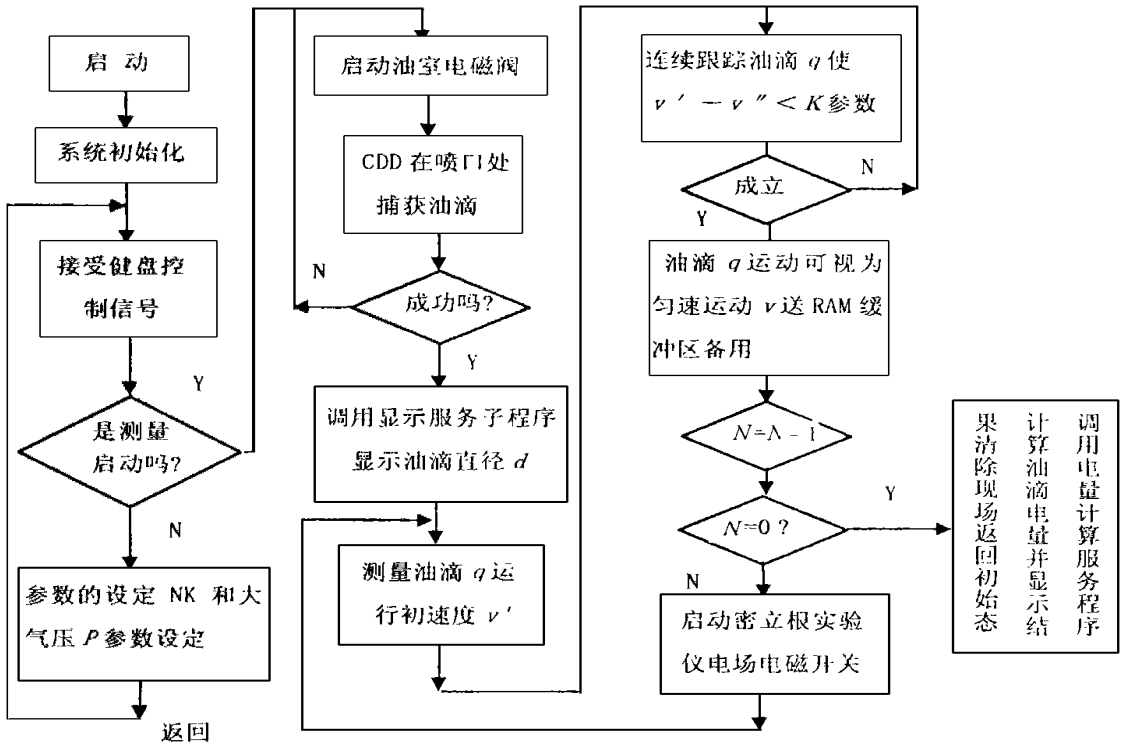


图 4 密立根油滴实验软件程序流程

4 结论

线 CCD 作为一种新兴的非接触测量工具, 正广泛用于工业自动化生产和实验技术的现代化中。本文根据线阵 CCD 进行的运用计算机技术所建立的密立根油滴实验, 已经投入大学物理实验教学, 经过实验验证, 是一个比较成功的 CCD 线阵运用范例, 随着 CCD 技术的进一步发展, 其应用前景将会进一步拓宽。

参 考 文 献

- 1 蔡文贵. 线阵 CCD 及其应用. 电子技术应用, 1992, (9): 67~68

Application of CCD Linear Matrix in Millikon Oildrops Experiment

Cheng Ming

(Chengdu Teacher's College Pengxian 611930)

Abstract This paper combines the technology of computer and charge coupling device (CCD) and applies it in the millikon oildrops experiment by the use of CCD linear matrix. It also provides a new noncontacted methdo of linear length survery for college physics experiments and modern industrial automatical production system, and displays the great vitality and vast vistas of CCD technology for physics experiments.

Key words charge coupling device; oildrops experiment; chipcomputer system

编辑 徐培红