

基于 CCD 的高精度水管倾斜仪研制

杨 江¹, 王 平²

(1. 中国地震局地震研究所, 湖北 武汉 430071; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: CCD 技术近年来已发展的非常成熟, 应用范围广泛。本文介绍了利用 CCD 技术实现的高精度水管倾斜仪测量系统, 其采用非接触式测量方法降低了测量过程中浮子干扰对测量精度的影响, 体积小, 安装简单, 可用于流动观测中。

关键词: CCD; 高精度; 水管倾斜仪; 非接触式; 流动观测

中图分类号: P315.62 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-0844(2011)04-0359-04

Development of High Precision Water Pipe Inclinator Based on CCD

YANG Jiang¹, WANG Ping²

(1. Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China; 2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In recent years, CCD technology has been developed very mature and applied in wide range. In this paper the development of high precision water pipe inclinometer based on CCD is introduced. Using the contactless measurement method, the system reduces the effect of the float interference on measurement precision. It has a small size, is convenient in installation, can be used in mobile observation.

Key words: CCD; High precision; Water pipe inclinometer; Contactless; Mobile observation

0 前言

水管倾斜仪的研制已有二十多年历史, 其观测精度高, 结构精密, 但传感器一直采用差动变压器利用浮子进行测量。由于浮子与水之间存在粘着力, 其测量结果不能立即反应液位实际变化量。随着 CCD 技术的成熟, 液面的非接触式测量方法具有了较成熟的技术支持和良好的发展前景。本文主要介绍利用高精度线阵 CCD 芯片 TCD1705 配合精密激光光源组成的倾斜仪测量系统。其采用非接触式测量方式, 体积小, 结构简单, 可用于流动观测。

1 系统测量原理

高精度 CCD 水管倾斜仪的基本工作原理是采用精密激光光源照射被测液面, 激光光源经过被测液面反射后照射到线阵 CCD 靶面上。随着被测液面的上下变化, 进而反应到线阵 CCD 靶面上的左

右变化, 线阵 CCD 再根据激光光线光源的移动量进行边缘识别和重心求解, 从而得到被测液面的变化量, 测量原理如图 1 所示。

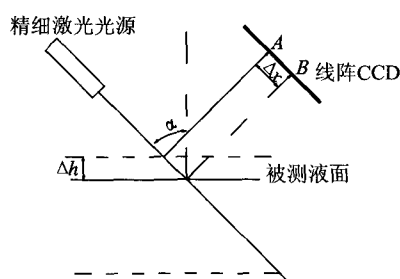


图 1 CCD 测量原理图

Fig. 1 Elementary diagram of measuring using CCD technology.

设光线以被测液面运动轴夹角 α 方向入射, 当液面处于某一高度时, 光斑落于 CCD 上的 A 点, 当被测液面的高度变化 Δh 时, 光斑落于 CCD 的 B

点。设置线阵 CCD 放置方向与激光光源照射方向平行,即靶面方向与被测液面运动轴呈 α 角,那么激光光线在 CCD 靶面上的位置为 X 。那么液面的变化量

$$\Delta h = \Delta X \times \cos \alpha。$$

本仪器 α 角设定为 45° 。

2 系统机械结构设计

机械部分设计要求仪器结构简单可靠,体积小,安装调节方便。通过试制最终确定整套系统机械结构组成如图 2 所示,由底板、不锈钢钵体、盖板、不锈钢罩、阻尼圈、固定板和连接管等几个部分组成。

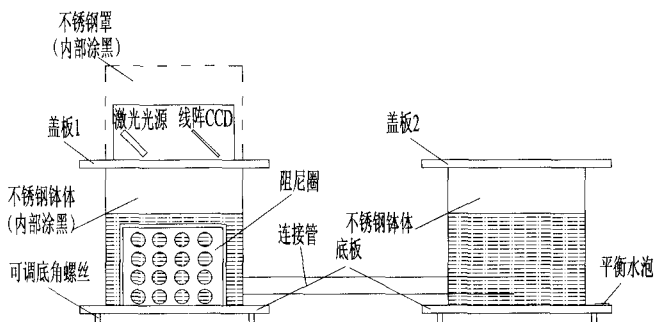


图 2 系统机械结构图

Fig. 2 System mechanical structure.

由于 CCD 器件对光敏感,安装激光光源和 CCD 芯片的测量端部分要求不锈钢钵体、不锈钢罩内部以及盖板和固定板两侧均做发黑处理,防止激光光源通过漫反射影响测量精度。测量端盖板做防水密封处理并且带有透光带,透光带尺寸光源大小由 CCD 芯片尺寸决定。阻尼圈做发黑处理,用于降低水面波动对测量系统的影响。底角螺丝采用三个简易可调结构,底板装有平衡水泡,用于检测底板调节水准度。固定板用于安装激光光源和线阵 CCD,保证其与法线夹角均为 45° 。连接管采用软管,方便运输。

3 系统电路设计

3.1 系统电路原理

系统电路包括激光成像单元、线阵 CCD 及驱动单元、信号调理单元、单片机处理以及显示输出单元等几个部分,整体框图如图 3 所示。

仪器采用可调光源,选择较适合的光照强度。激光光线通过液面反射由 CCD 芯片拾取后将光强度转换成电荷量输出,经过信号处理后进行采集存储,并通过单片机把处理后的信息通过主机液晶面板显示,并且通过串口输出与上位机进行连接。整

套系统中驱动电路和信号调理单元在 CPLD 芯片中完成,单片机和存储 RAM 的控制同步时序也由 CPLD 芯片严格给出。

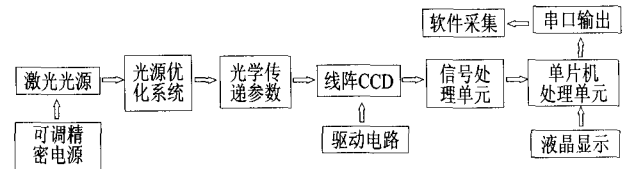


图 3 系统电路框图

Fig. 3 Flow chart of system circuit.

3.2 CCD 驱动电路设计^[1]

线阵 CCD^[2]采用东芝公司的 TCD1705D 型,像元个数为 7 450,像元大小以及像元间距为 $4.7 \mu\text{m} \times 4.7 \mu\text{m} \times 4.7 \mu\text{m}$,分奇像元 OS1 和偶像元 OS2 输出。其驱动脉冲包含有转移脉冲 SH,驱动电路产生的复位脉冲 RS 和钳位脉冲 CP,两路像元转移脉冲 φ_1 、 φ_2 。

CPLD^[3]芯片选用 Altera 公司的 MAX7000S 系列器件 EPM7064,它有 128 个逻辑宏单元,逻辑门数为 2 500。

硬件电路十分简单,主要保证时钟输入和硬件之间的连接的正确性,处理好电源高频干扰及保证电路接地。硬件电路完成以后,利用 VHDL^[4]语言实现驱动程序。

根据驱动脉冲时序关系确定 SH、 φ_1 、 φ_2 、CP 和 RS 的参数,各路脉冲技术指标如下:

转移脉冲 SH:脉冲宽度标准值为 1 500 ns,其周期为光信号积分时间;

复位信号 RS:时钟频率标准值为 1 MHz,占空比为 1:4,复位一次输出一个信号;

驱动脉冲 φ_1 、 φ_2 :时钟频率标准值为 1 MHz,占空比 1:1,其在并行转移时是一个大于 SH 的持续时间的宽脉冲,选择宽度为 2 500 ns。

钳位脉冲 CP:时钟频率标准值为 1 MHz,占空比为 1:4,滞后于复位信号 RS 为 125 ns。

设计驱动逻辑框图如图 4 所示。

在本设计中采用 8 MHz 方波信号作为输入时钟信号,dispart8 和 dispart2 模块分别表示时钟信号 8 分频和 2 分频;counter3800 和 ncounter3800 模块分别是上升沿计数和下降沿计数,计数范围在 0~3 800 之间循环,在前两个时钟为高电平,其余时钟为低电平;counter4 模块是上升沿计数,技术范围在 0~4 之间循环,在第一时钟为高电平,其余时钟为低电平;Mcell 模块是延迟模块。

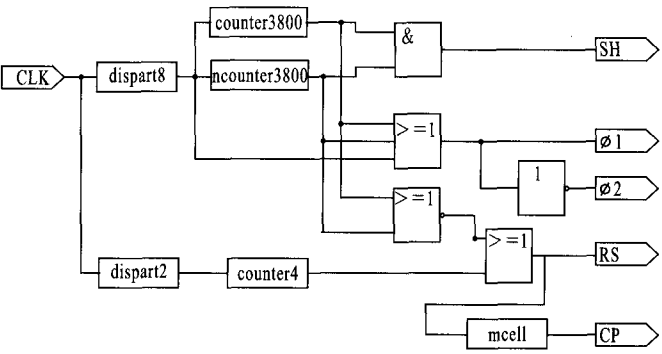


图 4 TCD1705 驱动逻辑图

Fig. 4 Drive logic diagram of TCD1705.

(1) counter3800 和 ncounter3800 两个模块输出信号相与以后得到转移脉冲 SH 信号;

(2) counter3800 和 ncounter3800 两个模块输出信号和 dispart8 模块输出信号逻辑或以后得到 ϕ_1 信号;

(3) ϕ_1 信号取反得到 ϕ_2 信号;

(4) counter3800 和 ncounter3800 两个模块输出信号或非以后和 counter4 模块输出信号取或得到 RS 信号;

(5) RS 信号经过 mcell 延迟模块得到 CP 信号。

在进行 VHDL 描述和编译之后,利用 MAX +PlusII 软件进行功能仿真。仿真结果如图 5 所示,满足 TCD1705 的驱动时序要求。

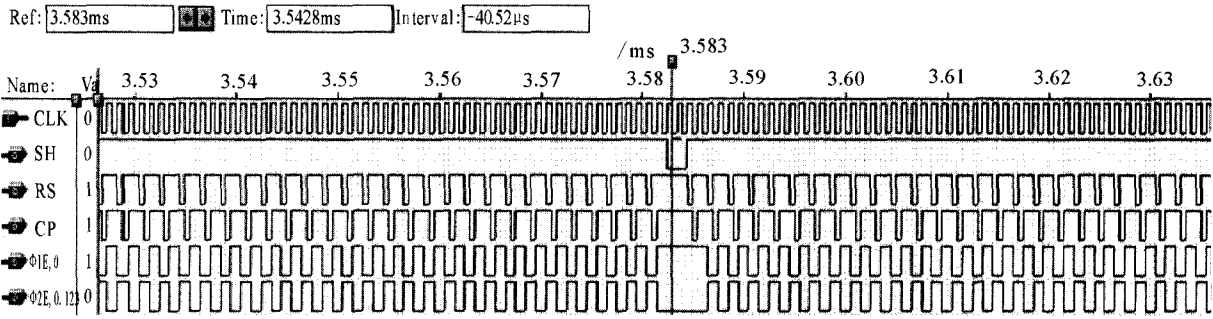


图 5 TCD1705 仿真时序图

Fig. 5 Simulation timing diagram of TCD1705.

3.3 CCD 输出信号处理和采集

要得到液面变化值,即要得到在 CCD 靶面上移动光斑的位移差值。如图 6 所示,在一特定时间内,移动光斑位移差值: $displace = position2 - position1$;液面变化值则为 $displace \times \cos 45^\circ$ 。

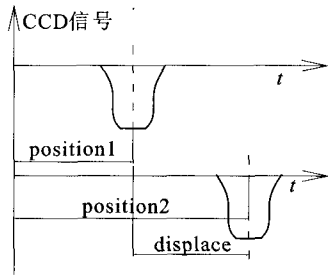


图 6 CCD 测量原理图

Fig. 6 Measuring elementary diagram of CCD.

光斑中心的绝对位置 position 由两部分组成:变化起始点到光斑边界距离和光斑边界到光斑中心点距离之和。由于 CCD 信号输出的时序对应于该光敏像元在 CCD 上的空间位置,如采用 1 M 的驱动频率,那么每个像元的占用时间就是 1 μs 。以

SH 作为基准脉冲来判断,以 SH 为零位,当检测到 SH 的时候,再去检测那个边缘。那么 SH 的初始和检测到边沿之间有个时间段,用这个时间段乘以像元宽度则得到起始点到光斑边界距离。

$$\begin{aligned} \text{变化点位置} &= (T_{\text{边缘点}} - T_{\text{SH零点}}) * \\ &(\text{驱动频率当量}) * (\text{像元宽度}) \end{aligned}$$

由于 TCD1705 分奇偶像元两路输出,两路输出单独处理后合并。由于 CCD 视频信号在边界处具有最大曲率,故处理方法采用微分法处理:CCD 输出离散信号经放大滤波后得到其视频信号,经由一次微分处理取绝对值后再经过二次微分处理并过零触发得到二值化信号。由单片机捕获边界信息,取上升沿和下降沿的中心作为光斑的中心位置。

光斑中心位置到边界距离由计数器法来实现。如图 7 所示,由 CCD 得行同步脉冲控制同步控制器产生控制脉冲,由 CCD 视频信号经二值化处理产生的二值化信号控制与门的开关,由计数器计数二值化方波内通过的标准时钟脉冲数,用此脉冲数乘以像元宽度得到距离。

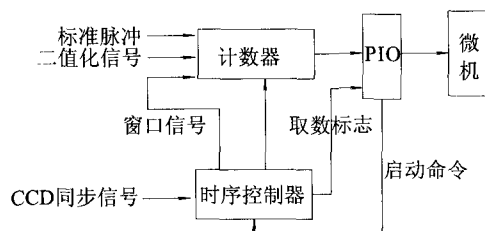


图 7 计数器法原理图

Fig. 7 Elementary diagram of counter method.

4 系统软件设计

系统软件主要是 CCD 主机与上位机通信,并在上位机上显示和存储。

利用串口与上位机进行通信,串口为 RS-232 通信协议,串口通信参数设置为:1 200,N,8,1。通信数据格式为当前测量值的五个 BCD 码。

上位机软件界面上显示界面如图 8。

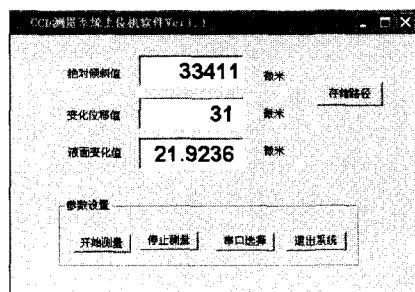


图 8 上位机显示界面

Fig. 8 Showing window of the upper instrument.

其中绝对倾斜值和变化位移值分别文中所提 position 和 displace。

开始测量后,系统自动在软件所在文件夹建立文件名格式为“年一月一日一时一分一秒”的文本文件进行数据存储。

5 小结

整套系统在实验室中进行系统测试,由于环境、光源等器件限制,其测量精度约在 $3\text{ }\mu\text{m}$ 左右,测量量程约为 32 mm。

后续研究工作预期分以下四个方面来进行:

(1) 光学部分:采用更好的激光光源和光学设备来减少光源的边界干扰;

(2) 机械部分:设计光源随动装置来扩展量程,利用差分结构提高测量精度;

(3) 电路部分:利用 CCD 细分技术提高信噪比;

(4) 软件部分:拥有良好的人机界面和远程通信能力。

本系统采用非接触式测量方法,体积小、结构简单已可应用于流动工程测量中,预期通过今后的工作提高其测量精度和量程,使其能应用于台站形变观测中。

[参考文献]

- [1] 项大鹏,杨江. 基于 CPLD 的线阵 CCD 驱动时序电路设计[J]. 大地测量与地球动力学,2010,30(增刊 2): 123-125.
- [2] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社,2000.
- [3] 宋万杰,罗丰,吴顺君. CPLD 技术及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.
- [4] 高志国,曹益平. VHDL 在 CCD 驱动电路中的应用[J]. 光学仪器,2006,28(3):21-27.
- [5] 刘蕾,江洁,张广军. 基于 CPLD 的线阵 CCD 的驱动及数据采集[J]. 电子测量与仪器学报,2006,20(4):107-110.