

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802277

# 基于 ExEX-2E1-Z 金属传感器的 钢球运动状况系统设计

黄文浩<sup>1</sup> 韩伟<sup>2</sup>

(1.北京联合大学 北京 100101; 2.北京电子科技职业学院 北京 100176)

**摘要:** 为了避免在硬塑料管道工程建设中塑料管道参数测量的误差,设计了一套探测管道内钢球运动状况测量系统,系统整体设计由单片机控制模块、传感器测量模块、信号处理电路、显示电路和机械装置等多个部分组成。系统硬件以 STM32F103 单片机为控制核心,以 ExEX-2E1-Z 金属传感器与 SCA61T-FA1H1G 倾角传感器为关键测量模块。系统软件主要使用 KEIL 5 软件对 STM32F103 单片机完成编译程序,以此来驱动金属传感器与倾角传感器对数据的测量分析,得出钢球的运动状况,并通过彩色液晶显示模块显示出钢球运动状况测量结果。在测量方法上,采用最小二乘法建立倾斜角计算模型来进行曲线拟合,从而实现角度测量。系统整体功能主要为了实现在非透明没有加工痕迹的硬塑料管材中测量出钢球数量、方向、周期以及角度等运动状况测量数值。

**关键词:** 倾角传感器;金属传感器;线性直流稳压电源;最小二乘法

**中图分类号:** TP273 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

## Design of steel ball motion condition system based on ExEX-2E1-Z metal sensor

Huang Wenhao<sup>1</sup> Han Wei<sup>2</sup>

(1. Beijing Union University, Beijing 100101, China; 2. Beijing Polytechnic, Beijing 100176, China)

**Abstract:** In order to avoid the error of measuring the parameters of plastic pipes in the construction of hard plastic pipes, a measuring system for detecting the movement of steel beads in pipes is designed. The hardware of the system is controlled by STM32F103 single chip microcomputer, and the key measurement module is ExEX-2E1-Z metal sensor and SCA61T-FA1H1G inclination sensor. The system software mainly uses KEIL 5 software to compile the STM32F103 single-chip microcomputer, in order to drive the metal sensor and inclination sensor to measure and analyze the data, get the movement of the steel ball, and display the measurement results of the movement of the steel ball through the color LCD module. In the measurement method, the least square method is used to establish the calculation model of inclination angle, and curve fitting is carried out to achieve angle measurement. The overall function of the system is to measure the number, direction, period and angle of steel balls in non-transparent hard plastic pipes without machining marks.

**Keywords:** tilt sensor; metal sensor; linear DC regulated power supply; least squares

## 0 引言

随着现代工业的发展,各种各样的管道工程建设逐渐增多,在这些管道建设中,除了大量使用金属管道外,还大量使用硬塑料管道。相比金属管道,硬塑料管道更不容易被腐蚀、生锈,而且其生产成本低,使用周期长。因此,硬塑料管更受人们欢迎,被大量使用在各种管道建设中,最为常见的就是家用自来水管道工程。在大量使用硬塑料管道的

同时,也随之出现了诸多问题,如硬塑管道堵塞、弯曲变形、管道分布不合理等一系列难以解决的问题。由于这些问题的出现,很大程度上限制了现代工业的发展,给人们的生活带来了许多不便。为了解决这些问题,也想出了许多办法,在检测塑料管道弯曲程度问题上,多采用仅凭眼睛瞄准指定目标大约估算塑料管道弯曲程度,但是仅凭经验估算的值肯定带来较大的误差;还有些采用分度盘进行机械式测角,但是分度盘不能无限增加,测量环境多样性,从而使测

量受到很大限制。同样在检测塑料管道堵塞问题上,多采用细钢丝插入管道内检测堵塞地方位置,但是这种测量方式受到环境因素限制极大,使检测塑料管道堵塞问题无法被解决<sup>[1-3]</sup>。因此,在现代工业的发展中,尤其是硬塑料管道工程建设中,极其需要一款性能稳定、工作可靠、测量精确度高、使用简单的塑料管道系统测量装置。为了解决塑料管道工程建设中出现的问题,采用智能化测量,设计出了一种管道内钢珠运动状况测量系统,系统是通过分析钢珠在塑料管道内运动状况,从而对塑料管道情况进行说明。系统对 ExEX-2E1-Z 金属传感器和 SCA61T-FA1H1G 倾角传感器的使用,在测量精度上占很大的优势,更进一步优化了管道内钢珠运动状况测量装置,使整个测量系统更加完善和精确,更加符合当下工业发展的需要,这对于整个工业发展以及对管道建设工程有着重要的意义<sup>[4-5]</sup>。

## 1 总体方案论证选择与解决的主要问题

### 1.1 主控制模块的论证与选择

1) 采用增强型 80C51 内核的 STC 系列单片机。单片机是采用 8051 核的可编程芯片,器件同时兼容标准 MCS-51 指令系统和 80C51 的引脚结构。80C51 的内部带有时钟电路,但是需要石英晶体和微调电容外接。80C51 的系统性能采集系统,可用来作为控制核心<sup>[6-8]</sup>。

2) 采用 STM32F103 内核的 STM 系列单片机。ARM 公司推出的 Cortex 内核,特别是 STM32F103 系列,该系列成为市场上通用的 MCU。STM32 系列内嵌 ARM Cortex-M3 内核,与 STC 系列单片机相比,速度和功能都强很多。内置了 32 KB 到 128 KB 的闪存,时钟频率 72 MHz 时,从闪存执行代码,STM32 功耗 36 mA,是 32 位市场上功耗最低的产品。

3) 采用 MSP430 系列单片机。该单片机是一个特别强调超低功耗的单片机,该单片机很适合应用于采用电池供电的长时间工作的场合,在这个系列中有很多个型号是由一些基本功能模块按不同的应用目标组合而成。

综上 3 种方案,由于 STM32F103 内核的 STM 系列单片机资源丰富,可直接读取测试信号,与其他模块共享电源,端口的连接无需另做电压匹配,同时本设计处理速度要求高,因此选择 2) STM32F103 内核的 STM 系列单片机最为合适。

### 1.2 传感器模块的论证与选择

1) 光电开关传感器,采用光电元件作为检测元件的传感器,把被测量的变化及时转换成光信号的变化,然后借助光电元件进一步将所需光信号转换成电信号。光电传感器只能测量可见物体,但设计要求钢珠管道为非透明管道,不能采用光电传感器。

2) 霍尔开关传感器,根据霍尔效应制作的磁场传感器,霍尔传感器能够检测到受检对象带磁性的物体,用这个磁场来作被检测的信息的载体,通过它将许多非电、非磁的物

量转变成电量来进行检测和控制,但是霍尔传感器和磁铁需要通过 2 cm 管道隔离,本身检测距离不能满足要求。

3) ExEX-2E1-Z 金属传感器,电感式接近开关由振荡器、开关电路及放大输出电路组成。振荡器会产生一个交变磁场,在达到感应距离时,会在金属目标内产生涡流,从而导致振荡的衰减,甚至停振。振荡器的振荡与停振的变化被后级放大电路处理并转换成为开关信号,触发驱动控制的器件,从而达到非接触式检测的目的。检测距离可达 8 mm。

4) SCA61T-FA1H1G 倾角传感器,是一种非常精确的测量小角度的检测工具,其可以对测量被测平面相对于水平位置的倾斜度的大小。该传感器分为单轴倾角传感器、加速度传感器、多轴倾角传感器等类型,考虑到设计中要求测量静态角度,所以选择单轴倾角传感器。

综上 4 种方案,选择 3) 和 4) 相结合的方式,即采用 ExEX-2E1-Z 金属传感器与 SCA61T-FA1H1G 倾角传感器相结合的检测方式作为系统测量装置的检测传感器。

### 1.3 测量方法的论证与选择

1) 梯度下降法是一种最优化算法。它是求解无约束优化问题的最简单的方法,许多有效的算法都是以它为基础进行改进和修正而得到的。它使用负梯度方向为搜索方向,梯度下降法越是接近目标值,步长越是小,前进越是慢,梯度下降法可以用于求解非线性方程组<sup>[9]</sup>。

2) 最小二乘法,又称为最小平方法,一种数学优化。其是通过最小化误差的平方与寻找数据的最佳函数匹配的方法。利用最小二乘法则可以非常便捷地求得未知的数据,并使得这些求得的数据与实际的数据之间误差的平方和为最小<sup>[10-11]</sup>。

综上两种方案,选择最小二乘法最合适,能将系统误差减少到最低。

### 1.4 系统解决的主要问题

2 个传感器的宽度  $w \leq 20$  mm,传感器 1 与 2 之间的距离任意选择或者 2 个传感器之间距离为 20 mm。分别将管道放置为 A 端高于 B 端或者 B 端高于 A 端,同时从高的一端放入 1 粒钢珠,要求能够准确的显示钢珠的运动方向与按照图 1 所示的放置管道,倾斜角  $\alpha$  的值为  $10^\circ \sim 80^\circ$  之间的某一角度,由 A 端随意的放入 1 粒钢珠,要求系统装置能够准确的显示倾斜角  $\alpha$  的角度值,测量误差的绝对值小于等于  $3^\circ$ 。

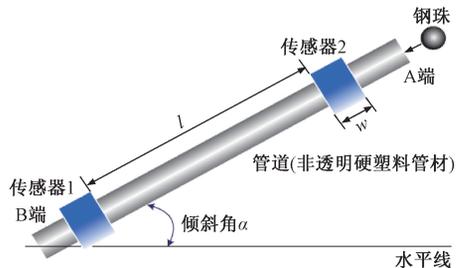


图 1 钢珠运动部分的结构

## 2 系统硬件电路设计

### 2.1 线性直流稳压电源模块

采用 15 V 变压器,桥式整流,电容滤波,三端集成稳压器构成整个系统提供 5 V 和 12 V 电源电压,确保电路的正常稳定工作。线性直流稳压电源模块设计流程如图 2 所示。

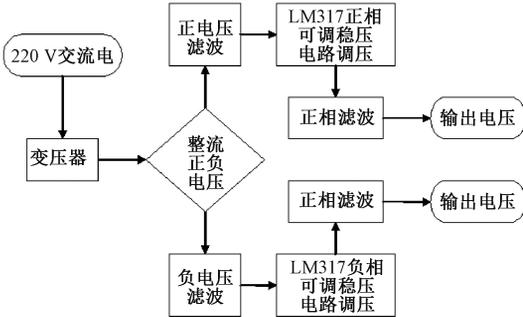


图 2 线性直流稳压电源模块设计流程

### 2.2 SCA61T-FA1H1G 倾角传感器模块

倾角传感器特点如表 1 所示。

表 1 倾角传感器特点

序号	特点
1	单轴倾角传感器
2	测量范围 0.5 kg(±30°)或者 1 kg
3	单极 5 V 供电,比例电压输出
4	高分辨率
5	数字 SPI 或模拟输出
6	长期稳定性非常好
7	低噪声,工作温度范围宽

引脚连接如图 3 所示。

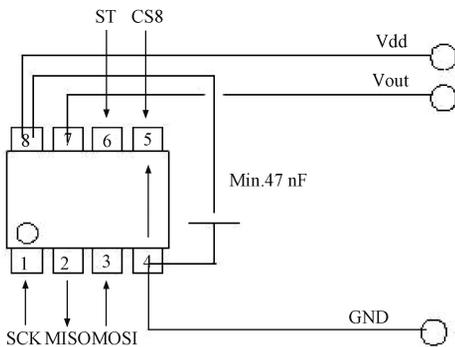


图 3 倾角传感器引脚图

高精度单轴倾角传感器 SCA61T-FA1H1G,它基于 3D MEMS 的单轴倾角检测,由一个传感元件(sensing element)与一个 ASIC 组成,内置了温度传感器,用来给倾

角传感器做温度补偿使用;内置了 EEPROM 存储器,用于存储补偿数据,具有自我检测/验证的引脚功能。模拟电压输出范围为 0.25~4.75 V;为了实现传感器输出信号 0.25~4.75 V 与 STM32 单片机的 AD 输入信号的 3.3 V 的匹配,设计了信号转换电路,如图 4 所示。

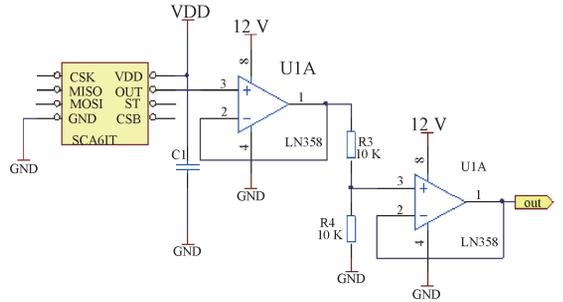


图 4 倾角传感器 SCA61T-FA1H1G 探测电路

### 2.3 ExEX-2E1-Z 金属传感器模块

#### 1) 工作原理

电感式接近开关是利用涡流感知物体的一种传感器,它由放大电路、高频振荡电路、整形电路以及输出电路组成。是由绕在磁芯上的线圈从而构成的 LC 振荡电路。振荡器通过感应面,在其前方产生一个高频的交变电磁场,当外界金属物体一旦接近这一磁场,达到感应区时,则在金属物体内会产生涡流效应,从而导致 LC 振荡电路的振荡减弱或着停止振荡,这一振荡变化,被会被后置电路放大处理并转换为一个具有确定开关的输出信号,从而达到非接触式检测目标的目的<sup>[12-13]</sup>。工作原理如图 5 所示。

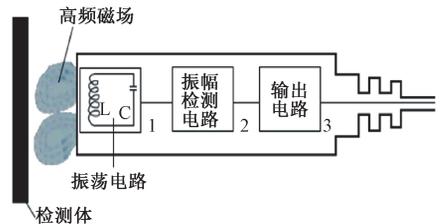


图 5 金属传感器工作原理

#### 2) 金属传感器探测电路设计

欧姆龙 ExEX-2E1-Z 金属传感器,NPN(NO),识别距离 4 mm,供电电压 12 V,工作频率 1 500 Hz,响应时间 0.1 ms,可以满足钢球连续通过传感器时可靠识别。金属传感器输出有 3 个端口:VCC、GND、OUT,输出端通过 10 kΩ 上拉电阻接电源,通过电阻分压对传感器输出 12 V 信号转换为 STM32F103 单片机 3.3 V 信号。电路如图 6 所示。

## 3 系统软件设计

### 3.1 编程工具软件 Keil uVision5

系统软件部分主要通过工具软件 Keil uVision5 对



况,并通过彩色液晶显示模块显示出钢球运动状况测量结果。系统整体设计方案如图 11 所示。

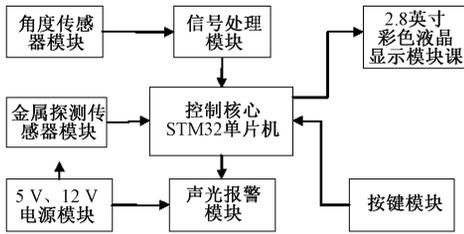


图 11 系统整体设计方案

#### 4.2 系统设计实物

系统装置构造简单、层次分明,各个模块功能明确,主要由:直角拼接木板,塑料管道,3 V+15 V 线性直流稳压电源,STM32F103 单片机,ExEX-2E1-Z 金属传感器,SCA61T-FA1H1G 倾角传感器等硬件模块组装而成,如图 12 所示。

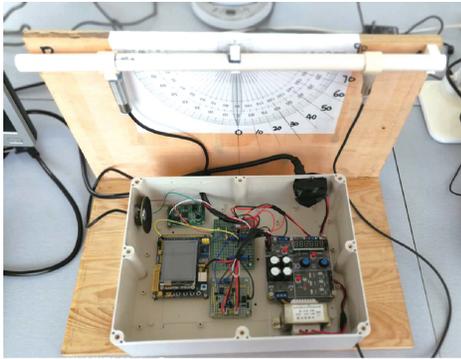


图 12 整体装置

### 5 测试方法

#### 5.1 最小二乘法

采用最小二乘法,本质是通过最小化误差的平方以及寻找数据的最佳函数匹配。利用最小二乘法可以非常简便地求得未知的数据,使得这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小。最小二乘法表达式如下:

$$y = f(x) = \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + b \quad (1)$$

通过此方法试图找到一条直线,使所有样本到直线上的欧式距离之和最小<sup>[14]</sup>。

#### 5.2 倾斜角计算模型的建立

根据本次任务要求需要通过测量的小球运动时间和角度数据进行搭建模型,根据加速度与位移的关系定理,可以先验的估计运动时间与角度是成二次方的关系,故可以使用机器学习中的线性回归进行模型建立。

线性模型通过一个通用属性的线性组合来进行预测,一次幂的通用线性模型是:

$$y = f(x) = \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_n x_n + b \quad (2)$$

式(1)属性维度仅为二维,通过二次方之后属性维度

变为二维,可得出线性方程为:

$$y = f(x) = \omega_1 x + \omega_2 x^2 + b \quad (3)$$

线性回归算法试图通过训练得到一组合适的数值,其中衡量两者差别的就是损失函数。常用的损失函数有均方误差函数等。鉴于问题是连续值的回归问题,则均方误差损失函数,建立等价于损失函数的最小化问题,采用最小二乘法建立倾斜角计算模型来进行曲线拟合,从而实现角度测量<sup>[15]</sup>。

### 6 测试结果

#### 6.1 测试条件与仪器

1)测试条件:为了保障测量的精度和准确度,接近开关的安装要控制好与被测物体的测试距离。检查电路连接是否准确,保证电路连接无故障。

2)测试仪器:FLUKE 万用表、数字示波器、信号发生器、秒表、TAJIMA 量角器。

#### 6.2 测试结果与分析

##### 1)管道显示方向测试结果

系统装置确定一端为 A 端另一端为 B 端,从小球的高端放入一个钢球,小球会通过需要测量的塑料管道部分,同时在 2.8 寸 TFTLCD 液晶显示屏会显示出小球运动的方向,分别用 01 和 10 表示。管道显示方向测试结果如表 2。

表 2 A 或 B 端放钢球显示方向测试结果

放入端	显示
A 端	01
B 端	10

##### 2)管道角度测量及显示倾斜角

调整系统装置塑料管道的不同角度,倾斜角  $\alpha$  为  $10^\circ \sim 80^\circ$  之间的某一角度,由装置高的一端放入一粒钢球,在 2.8 寸 TFTLCD 液晶显示屏会测量显示出管道与水平面的夹角。使用传统的测量工具对管道与水平面的夹角进行测量,将系统装置测量的结果与传统量角器测量的结果进行比较分析,会发现测结果相同,以此确定装置测量系统的稳定性与准确性。A 端放入钢球,测量及显示倾斜角测试结果如表 3 所示。

表 3 A 端放入钢球,测量及显示倾斜角 ( $^\circ$ )

量角器度数	10	20	30	40	50	60	70	80
测量显示角度	10	20	30	40	50	60	70	80

### 7 结 论

针对塑料管道工程建设中出现的管道堵塞、管道弯曲程度检测等问题,本文设计了一种管道内钢球运动状况测

量系统。系统主要通过分析钢珠在塑料管道内运动状况,从而对塑料管道情况进行说明,解决了传统测量误差大的问题,同时采用智能化电子测量的方法测量管道情况,所得到的数据比手工传统测量更加精确。系统供电采用线性直流稳压电源,波纹电压小、电压稳定,同时可以调节和输出不同的稳定电压,相比传统的供电系统可以有效地避免测量环境中供电不稳给测量结果带来的误差。系统设计过程中,为了避免测量环境极端,如角度大等造成测量误差大或者无法测量的结果,则系统采用了 ExEX-2E1-Z 金属传感器与 SCA61T-FA1H1G 倾角传感器相结合的测量方式,大大提高了系统测量的响应速度,极大地减少了测量误差,同时也解决了由于管道跨度大、管道位置特殊等测量客观环境造成的无法测量问题。因此,该系统在现代工业的发展中,尤其是硬塑料管道工程建设中,起到了重要作用,符合当下工业发展的需要,对于整个工业发展以及管道建设工程有着重要的意义。

### 参考文献

- [1] 陶卫,浦昭邦,孙运斌.角度测量技术的发展[J].激光杂志,2002(2):5-7.
- [2] 裴先登,罗春,黄浩.PSD 高精度位置测量系统的研究与设计[J].华中科技大学学报(自然科学版),2004(2):7-9.
- [3] 袁红星,王志兴,贺安之.PSD 非线性修正的算法研究[J].仪器仪表学报,1999,20(3):271-274.
- [4] 黄梅珍,唐九耀,陈钰清.一维 PSD 的光电性能解析研究[J].电光与控制,2000(4):55-59.
- [5] 吕值敏.滤波融合算法的管道钢珠运动检测系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2018,18(9):82-85.
- [6] 王涛,刘军,曾国强,等.基于 4G 模块的高精度倾角测量系统设计[J].仪表技术与传感器,2017(8):59-61.
- [7] 任桂香,唐立军,任晓周,等.远程实时堤坝边坡监测系统的设计[J].电子测量技术,2017,40(6):190-196.
- [8] 邱崇军,胡登鹏.基于 LDC1314 的金属探测器设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2017,17(2):53-55.
- [9] 李杰,程为彬,冯笃,等.低纹波双电池直流稳压电源设计与实现[J].现代电子技术,2016,39(14):150-153.
- [10] 刘新战.可调直流稳压电源电路的设计[J].电子技术与软件工程,2016(8):139.
- [11] 曹庆,刘博,赵鸣.基于物联网的结构施工监测技术应用[J].电子测量技术,2016,39(4):169-172.
- [12] 陈世夏,丁国臣,吴凌燕.基于 89S52 智能小车的设计[J].国外电子测量技术,2013,32(9):52-54,58.
- [13] 薛伦生,舒涛,戴新生.基于单片机控制的小车平衡系统设计[J].电子测量技术,2009,32(5):85-87.
- [14] 赵彦玲,唐晓强,李文哲.大功率线性直流稳压电源研制[J].电测与仪表,1997(2):9-10,32.
- [15] 吕净阁.分布式随机加权梯度下降[J].电子技术与软件工程,2018(14):193.

### 作者简介

**黄文浩**,本科,主要研究方向为电子信息技术、应用电子技术等。

**韩伟**,硕士、副教授,主要研究方向为电子信息技术、应用电子技术、仪器与测试技术等。

E-mail:hanweihl@163.com