

# 并联传感器系统压力传感器故障诊断系统设计

韩成春<sup>1,2</sup>

(1. 徐州工程学院 信电学院, 江苏 徐州 221111;

2. 江苏省大型工程装备检测与控制重点实验室, 江苏 徐州 221111)

**摘要:** 在工业生产过程中电子皮带秤普遍采用多个称重传感器输出信号的并联方法, 而该方法对多个称重传感器无法独立采集同时无法准确判断故障; 应用 TI 公司 MSC1210 单片机最小系统和信号分离器, 设计一种并联传感器系统压力传感器故障诊断系统, 实现多个称重传感器并联应用时的独立采集; 发明一种皮带秤称重传感器累计量校准方法, 将不断变化的累计量转换成定量值实现并联传感器系统压力传感器故障诊断; 结果表明该系统较好实现多个称重传感器的独立采集和故障传感器判断, 为皮带秤等计量装置并联传感器系统的技术升级提供有效手段。

**关键词:** 并联传感器系统; 压力传感器; 故障诊断; 传感器校准方法

## Design of Pressure Sensor Fault Diagnosis System of Parallel Sensor System

Han Chengchun<sup>1,2</sup>

(1. Department of Information and Electrical Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221111, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Large Engineering Equipment Detection and Control, Xuzhou 221111, China)

**Abstract:** Electronic belt scale widely used the parallel method of multiple weighing sensor output signals in the process of industrial production. For each weighing sensor the method cannot separate collection at the same time difficult to determine the fault accurately. Using the TI company MSC1210 single chip microcomputer minimum system and signal separator, to design the pressure sensor fault diagnosis system of the parallel sensor system and to achieve the independent acquisition when the multiple weighing sensor output parallel applications; Invented the cumulative amount calibration method of belt scale weighing sensor, will continue to change the cumulative amount and transformed into quantitative values and realize pressure sensor fault diagnosis of the parallel sensor system. Results show the system better meet the requirements of multiple independent acquisition of the weighing sensor and the fault sensors, for the technology upgrade of parallel sensor system and provide effective means centralized monitoring.

**Keywords:** parallel sensor system; pressure sensor; fault diagnosis; sensor calibration method

## 0 引言

电子皮带秤作为计量、控制、管理等功能于一体广泛应用于工业生产过程中。但由于输送皮带的张力变化、输送物料不均匀而导致的秤架两侧受压不均匀、托辊径向跳动、皮带质量偏差和皮带扣引起振动等因素将产生计量误差。因此解决这些计量误差是本领域技术人员急需解决的技术问题<sup>[1-4]</sup>。为了提高电子皮带秤的计量精度, 一方面利用称重传感器减振装置来吸收设备运行时的振动能量<sup>[5]</sup>; 另一方面采用多个称重传感器同时将多个并联传感器输出信号的并联方法来计算平均累计量, 以期达到简化硬件和避免任何一个称重传感器出现故障时均可正常计量, 以此提高系统的可靠性。

随着计量设备智能诊断技术的日益普及, 称重传感器输出信号的并联方法无法独立采集, 限制了智能诊断技术的应用, 仅靠人工经验管理, 不仅提高在线管理难度和成本, 而且无法及时掌控设备状态。本文设计一种并联传感器系统压力传感器故障诊断系统, 解决并联传感器输出信号无法独立采集问题,

实现并联传感器系统压力传感器的在线监测与故障诊断。

## 1 系统结构及原理

如图 1 所示, 该系统由输送皮带、滚轴码盘、变频电机、变频器、在线智能采集装置、称重传感器、数据通信总线、监控主机组成, 在线智能采集装置分别采集皮带滚轴码盘速度信号、变频器速度信号和称重传感器的压力信号, 通过数据通信总线将速度和压力信息传送到监控主机, 由监控主机计算称重传感器的累计量和状态值, 并分析判断称重传感器的工作状态。在实际应用过程中, 考虑输送皮带打滑等因素引起的速度突变, 结合变频器的速度信号和皮带滚轴码盘的速度信号, 确定计量用皮带速度, 以保证计算速度的可靠性。

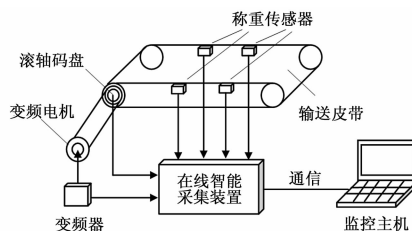


图 1 在线监测与故障诊断系统示意图

收稿日期: 2014-11-24; 修回日期: 2015-01-09。

**基金项目:** 江苏省大型工程装备检测与控制重点实验室开放课题 (JSKLEDC2010); 江苏省高校自然科学研究重点项目 (13KJA520007); 住房和城乡建设部研究开发项目 (2014-K5-022)。

**作者简介:** 韩成春 (1971-), 男, 吉林延吉人, 博士, 副教授, 主要从事电气工程与自动化方向的研究。

在线智能采集装置主要包括信号分离器、称重检测单片机、总线收发器、模拟电源和数字电源, 称重传感器采用桥式电路, 其输出分别与称重检测单片机的模拟输入端连接, 实现差分式信号输入, 称重检测单片机的通信接口端与总线收发器

双向连接，收发采集信息和命令；还与信号分离器的输入端连接，信号分离器的输出并联信号与称重显示控制器连接，如图 2 所示。

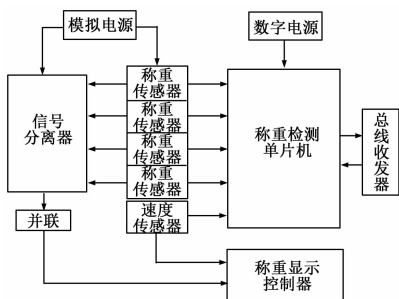


图 2 在线智能采集装置结构框图

## 2 系统硬件设计

### 2.1 称重检测单片机系统

采用系统级单片机 MSC1210 内有 24 位  $\Sigma-\Delta$  型 A/D 转换器<sup>[6-7]</sup>。各个称重传感器的电压输出信号经过滤波电路后，以差分形式输入到 MSC1210 单片机的模拟信号输入端 AIN0、AIN1 进行 A/D 转换并通过总线收发器传送到监控主机。MSC1210 单片机复位采用 MAX812 芯片，A/D 转换参考电源采用紧密型低压差线性稳压器 LP2591，经高精度电阻网络分压成 2.5 V 后供给，数字芯片和模拟电路独立供电并对电源进行稳压滤波电路，MSC1210 单片机最小系统硬件，如图 3 所示。

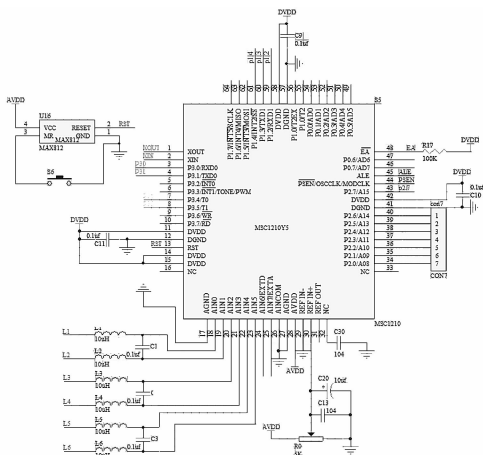


图 3 MSC1210 单片机系统

### 2.2 MODBUS 数据通信电路

采用 MODBUS-RTU 数据通信协议方式，数据收发采用 MAX485 芯片，通过高频光耦隔离芯片 6N137 与 MSC1210 的通信接口端 P1.2 (Rx/D1) 和 P1.3 (Tx/D1) 以及 P1.4 (收发控制) 连接，实现 MAX485 芯片与 MSC1210 相互隔离，提高系统可靠性，如图 4 所示。

### 2.3 滚轴码盘速度信号整形电路

采用 LM293 差分比较器的整形电路进行对皮带滚轴码盘的实际速度信号整形，以此消除干扰对速度采集信号的影响，提高计量用计算速度的精度，如图 5 所示。

图 5 中，C21 为隔直耦合电容，R12 和 R15 为隔离电阻抑制共模干扰，D1 和 D2 对输入脉冲进行低电压限制并抬高信号电平，用肖特基二极管 MMSZ4688 来保护 LM2903 比较器。

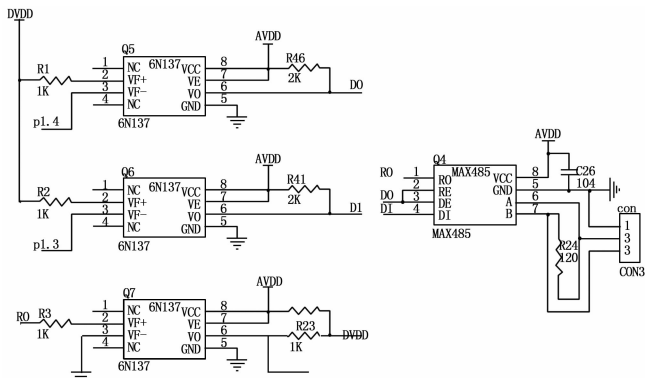


图 4 MODBUS 数据通信接口电路

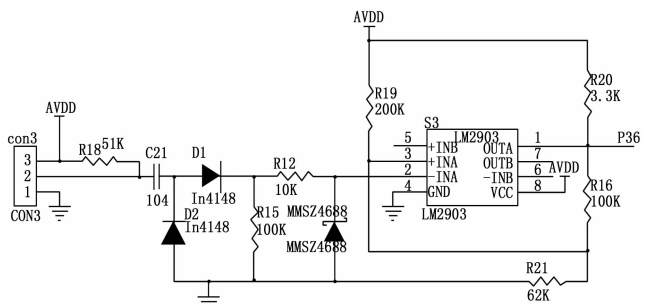


图 5 皮带滚轴码盘速度信号整形电路

### 2.4 信号分离器电路

采用运算放大器的信号跟踪隔离原理，对各个称重传感器的输出信号与运算放大器的信号跟踪电路连接，将信号跟踪电路的输出信号并联后传送给称重显示控制器。称重传感器的输出信号直接与称重检测单片机的模拟输入端连接，如图 6 所示。

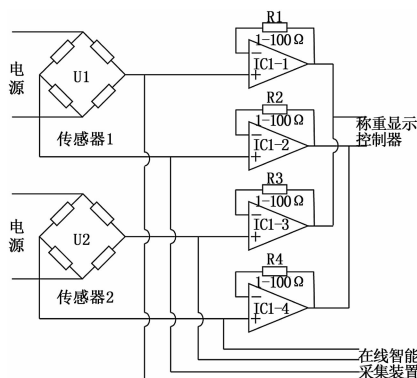


图 6 信号分离器电路

## 3 故障诊断方法

步骤 1：采用累加法来计算称重传感器的称重累计量，并考虑皮带称量段上的物料分布不均匀和皮带速度的变化，首先计算单位时间间隔内的瞬时流量  $Q_i$ ，即：

$$Q_i = k \times (w_i - z) \times v \quad (1)$$

其中： $w_i$  为加载时的重量值，也称毛重； $z$  为空载时的重量值，也称皮重； $v$  为运行速度； $k$  为标定变换量程系数，也称修正系数。

步骤 2：根据式 (1) 的瞬时流量  $Q_i$ ，通过瞬时流量  $Q_i$  和瞬时累计量  $W_i$  的互换公式，计算各个压力传感器的瞬时称重累计量  $W_i$ ，即：

$$W_i = \frac{Q_i \times L}{V} \div 3.6 \quad (2)$$

其中:  $L$  为有效称量段长度;  $V$  为有效称量段长度的皮带运行速度。

步骤 3: 称重用称重传感器在线状态分析判断采用皮带秤称重传感器累计量校准方法<sup>[8]</sup>, 各个称重传感器在线状态比对算法为:

$$D_i = \lg(N \times W_i / \sum_{i=1} W_i) \quad (3)$$

其中:  $D_i$  为瞬间对数值, 也称为各个称重传感器在线状态比对值;  $N$  为称重传感器个数。

故障诊断采用状态趋势判断方法, 通过自动或手动的修正方法获得校准区、误差区和故障区, 且区间值依次增加。标准区修正相关算法为:

$$Z_1 = (1D_{\max1} + 1D_{\min1})/2 \quad (4)$$

$$Z_1 < Z_2 < Z_1 + a \quad (5)$$

$$Z_2 < Z_3 < Z_2 + b \quad (6)$$

其中:  $1D_{\max1}$  为称量传感器累计量的最大对数值的绝对值;  $1D_{\min1}$  为称量传感器累计量的最小对数值的绝对值;  $a$  为误差区的修正系数;  $b$  为故障区的修正系数;  $Z_1$  为校准区是基于零点为基点的正负值组成的区间;  $Z_2$  为误差区是基于校准区修正后的位于校准区外的正负区间;  $Z_3$  为故障区是基于误差区修正后的位于误差区外的正负区间。区域设定示意图, 如图 7 所示。

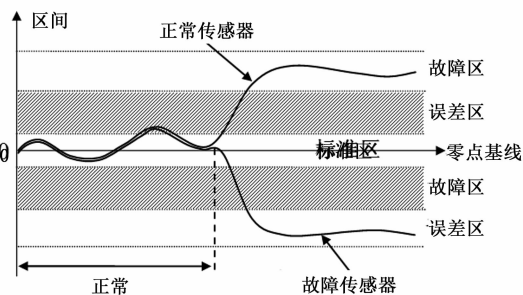


图 7 故障判断用区域设定示意图

通过在线采集实际计量值获得状态比对值的标准范围, 利用累计量的不同组合的对数值获得实时零点值与标准值对比, 自动追踪判断称重传感器的称重累计量误差趋势, 进而判断出误差的部位及所在系统。

### 4 系统软件设计

在线智能采集装置信号检测软件主要包括 MSC1210 系统初始化、读取 A/D 转换数据、INT0 中断处理、MSC1210 温度读取、转换数据通信等部分, 如图 8 所示。

监控软件主要包括状态校准参数、通信参数等参数初始化、数据(速度、压力)转换、累计量计算、状态分析判断等部分, 如图 9 所示。

其中上位机在线状态监测与故障诊断实现采用前述的故障诊断方法(图 2 所示), 其中状态判断主程序模块如下:

```
void v_sensor_state_calc_par(void){
//步骤 1:读取数据数字滤波
v_ReadDataFilters();
//步骤 2:数据(速度、压力)转换
v_Voltage2PressureTrans();
```

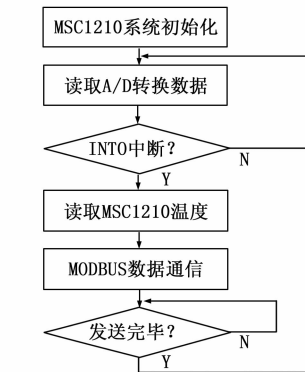


图 8 在线智能采集装置程序流程图

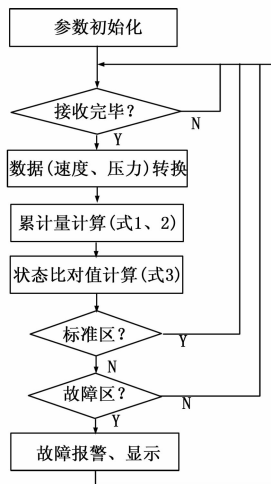


图 9 状态监测与故障判断流程图

```
v_ Voltage2VelocityTrans ();
//步骤 3 :瞬时流量计算
v_ ShunshiLiuliangCalc ();
//步骤 4:各累计量及总累计量计算
v_ TotalLeijiliangCalc ();
//步骤 5:状态比对值计算
v_ ValueLogAndStateCalc ();
//步骤 6:故障判断
v_EvalSensorState ();
}
```

### 5 实验结果

如图 1 所示, 实验采用 4 个称重传感器和变频器速度驱动信号和皮带滚轴码盘速度信号, 采集信息通过在线智能采集装置的 MODBUS-TRU 数据通信传送到监控主机, 监控主机由 VC++ 软件编程, 计算累计量和状态值, 由状态趋势分析判断称重传感器的工作状态并实时显示和报警, 如图 10 所示。

由图 10 可知, 由称重传感器的状态值趋势能够准确地判断出各个称重传感器的工作状态, 其结果表明该系统设计可行, 满足称重状态在线监测和故障诊断的设计要求。此外称重传感器的输出信号得到有效分离, 实现了多个称重传感器并联应用时的独立采集, 既不影响原有的称重显示控制器的正常运行, 又能准确采集各个称重传感器的独立运行状态, 改善目前电子称重计量装置。

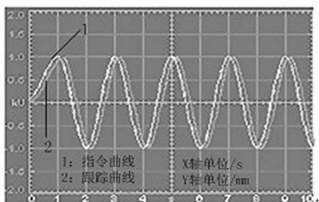


图9 未进行前馈整定结果

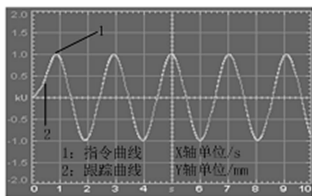


图10 进行前馈整定结果

### 3.2 定位精度测量

通过对平台进行精度检测，直线运动的定位精度：X 轴在整个 300 mm 的丝杠行程上的定位精度 $\leq 0.01$  mm，重复定位精度 $\leq 0.015$  mm；Y 轴在整个 300 mm 的丝杠行程上的定位精度 $\leq 0.01$  mm，重复定位精度 $\leq 0.014$  mm，Z 轴在 100 mm 的丝杠行程上的定位精度 $\leq 0.01$  mm，重复定位精度 $\leq 0.02$  mm。经过精度测试，验证了该平台的精度满足设计要求。

### 3.3 实验验证

经过工作平台系统建立及运动控制仿真后，进行平台实际运动控制及定位实验，验证 AOI 平台的控制精度指标。

应用 AOI 平台上的 CCD 相机对印刷电路板进行图像采集同时上传到上位机，通过快速 Hough 变换检测圆的算法，处理 CCD 相机采集的图像得到其定位圆圆心坐标及半径数据，并将其圆心坐标进行坐标转换后将数据直接传输到控制器，控制器将转换后的数据转换为 AOI 平台的运动量，并进行运动控制，此时控制器会计算出一个跟踪误差，可以通过 ACR-View 软件提供的示波器进行采集，经过 50 次的实验测试，得

到控制精度均值如表 1 所示。而且当平台移动到检测板定位圆上方后，CCD 相机再次采集电路板定位圆图像进行处理，得到的数据与软件示波器的误差值进行比较其数值吻合，从而验证了控制的精度值，得到 AOI 平台各轴的控制精度 $\leq 0.01$  mm，满足设计 AOI 平台时的定位指标。

表 1 实验控制精度表

| 精度指标 | X 轴精度  | Y 轴精度  | Z 轴精度  |
|------|--------|--------|--------|
| 10 m | 5.06 m | 4.12 m | 8.72 m |

## 4 总结

本文研究的龙门式三自由度并联运动平台及运动控制系统已经成功进行了调试，由实验分析结果知，该平台的软硬件结构实现合理，定位速度快，精度高且运行平稳。平台已成功运用到了 PCB 板自动光学检测中，经过一段时间的运行证明了该平台的快速性、高精度以及平稳性等特点。由于该平台采用开放式模块化的设计思路，所以该平台的通用性也大大提高了，除了进行 PCB 板的光学检测外，同时还可以应用到其他方面，例如焊点焊接工作台等高速、高精度要求的数控机构。

### 参考文献：

[1] 邴守东, 姚立新. 自动光学检测仪工作平台运动控制系统的研究 [J]. 电子工业专用设备, 2009, 3-7

[2] 吴 奎. 龙门式精密运动平台的滑模控制算法研究与实现 [D]. 广州: 广东工业大学, 2012.

[3] 王 蕾, 宋文忠. PID 控制 [J]. 自动化仪表, 2004 (4): 3-8

[4] 金 钊, 林宝君, 冀群心. 数控系统中伺服系统位置前馈控制器的设计 [J]. 测控技术, 2010 (8): 65-57

[5] PARKER 公司. ACR Programmer's Guide [Z]. 88-89

[6] 郝 齐, 关立文, 王立平. 基于遗传算法并联机床电机伺服系统控制参数整定 [J]. 清华大学学报, 2010 (11): 1081-1086

(上接第 2254 页)

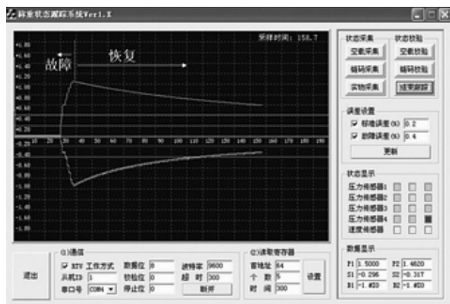


图 10 称重状态在线监测与故障诊断结果

## 6 结束语

本系统应用 TI 公司 MSC1210 单片机最小系统和信号分离器，实现了并联称重传感器系统的多个称重传感器并联输出的独立采集。该系统一方面与现有的称重显示控制器相结合满足多个称重传感器的累计量计算；另一方面利用皮带秤称重传感器累计量校准方法实现了并联传感器系统压力传感器的在线状态监测与故障诊断，大大提高了皮带秤调试效率和精度，为并联传感器系统压力传感器的故障诊断和集中监

控提供一种有效手段。

### 参考文献：

[1] 厉 达, 何福胜. 皮带秤技术的应用现状及发展趋势 [J]. 衡器, 2008, 37 (5): 1-8.

[2] 马华旭, 潘宏侠. 提高电子皮带秤应用准确度的技术措施 [J]. 矿山机械, 2009, 37 (7): 77-80.

[3] 谢光辉. 电子皮带秤计量误差的动态分析 [J]. 计量与测试技术, 2010, 37 (4): 31-32.

[4] 胡夕岚. 提高电子皮带秤使用精度的方法 [J]. 华中电力, 2007, 20 (2): 51-54.

[5] 席建中, 韩成春, 乔淑云. 自整定式皮带秤称重装置 [J]. 仪表技术与传感器, 2012 (10): 94-95.

[6] 李 刚, 林 凌, 何 峰. 高性能 SoC 模拟信号处理单片机 MSC1210 原理与开发应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.

[7] 苏晓龙, 王香婷. 基于 RS-485 总线的数据采集系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2007, (12): 52-53, 78.

[8] 孙荣军, 韩成春, 席建中. 皮带秤称重传感器累计量校准方法 [P]. 中国: ZL201110242156.7. 2014.