一种高精度悬臂梁式电子秤的研制*

张 菁 赵 鹏
(榆林学院能源工程学院 榆林 719000)

摘 要：针对电子秤悬臂梁材质、称重方式及功能单一的问题，提出了单片机为控制器，利用钢质悬臂梁上粘贴电阻应变片作为称重传感器，结合矩阵键盘电路、LCD显示电路、A/D转换电路及语音播报电路等实现钢制悬臂梁悬挂式电子秤的设计。具备5.00～500 g重量的测量功能，当重量小于50 g时，称重误差小于0.5 g，重量在50 g以上时，称重误差小于1 g；具备单价设置功能并结合重量实现金额的累加；具备去皮功能及语音播报功能。整个系统采用蓄电池供电，增加了系统的便携性和可重复利用性。实验证明，该系统集测量精度高、显示直观及工作性能稳定等优点，对应用于各种场合的高精度悬臂梁式电子秤的改进有一定的指导意义。

关键词：电子秤；单片机；悬臂梁；电阻应变片
中图分类号：TP274；TN602 **文献标识码**：A **国家标准学科分类代码**：510.1050

Development of a high precision cantilever beam type electronic scale

Zhang Jing Zhao Peng
(School of Energy Engineering, Yulin University, Yulin 719000, China)

Abstract: With regard to the electronic scale's problems such as the material of the electronic scale cantilever beam, weighing method and unitary function, this article proposes a design of the steel cantilever beam type electronic scale which uses MCU as a controller, electric resistance strain gauge pasted on the steel cantilever beam as weighing sensors, combines matrix keyboard circuit, LCD display circuit, A/D conversion circuit and voice broadcast circuit, etc. Such electronic scale has the function of measuring the weight between 5.00 g to 500 g. When the weight is below 50 g, the weighting error will be less than 0.5 g; when the weight is above 50 g, the weighting error will be less than 1 g; Such electronic scale has the function of unit price setting, amount accumulating according to the weight; the machine also has the net weight function (i.e. deducting the packing's weight) and the voice broadcast function. The whole system adopts the storage battery as its storage battery which improves the portability and the reusability of the system. The experiment verifies that this system has the advantages of high measure precision, clear display, stable performance, etc., could be used in diversified situations. This design, therefore, has a certain guiding significance to the improvement of the cantilever beam type electronic scale.

Keywords: electronic scale; MCU; cantilever beam; electric resistance strain gauge

1 引 言

传统的悬臂梁式电子秤主要以托盘式为主，在悬臂梁上粘贴电阻式应变片构成称重传感器，利用传感器的形变将质量转换为可测量的电信号。其悬臂梁组成材质主要为铝合金的称重传感器，适用于电子计价秤、平台秤、案秤等；以钢为材料的悬臂梁传感器适用于电子皮带秤、分选秤[1-2]。而以钢为悬臂梁材料设计的悬挂式高精度电子计价秤则较少。本设计以单片机为控制器，以全桥为应变片的粘贴形式，通过软硬设计及实物调试，实现了钢制悬臂梁悬挂式电子秤的设计，突破了传统电子秤的悬臂梁材质和称重物体的放置形式，在兼具精度的同时拓展了更多人性化功能，有着较为广泛的应用前景。

2 方案论证

2.1 方案1

采用超低功耗MSP430系列单片机为控制器，利用仪表放大器INA333放大信号的同时提高系统的共模抑制比，利用24位高精度A/D转换器ADS1256将电压信号转换为数字信号经单片机处理后显示，具体结构如图1所示。

收稿日期：2016-12
* 基金项目：陕西省教育厅专项科研计划(15JK1864)资助项目

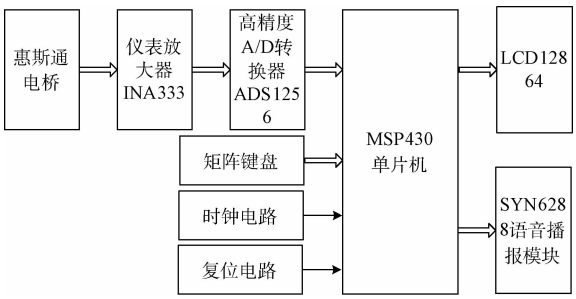

图 1　MSP430 系列 16 位单片机构成的系统结构

2.2　方案 2

采用国产宏晶科技的 STC 系列单片机，结合主要用于高精度称重传感器而设计的支持差分输入的 24 位 A/D 转换器芯片 HX711，配合其他外围电路实现对被测物体重量的显示、价格设置及语音播报功能，具体结构如图 2 所示。

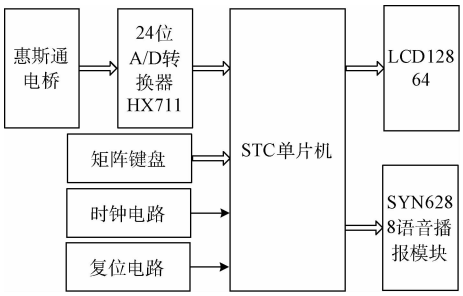

图 2　STC 单片机构成的系统结构

2.3　方案对比

从单片机的处理速度分析 MSP430 为 16 位处理器其处理数据能力优于 8 位的 STC 单片机；从功耗的角度分析，方案 1 中的处理器和主要外围器件 INA333、ADS1256 为超低功耗，优于方案 2；从采集精度的角度分析，ADS1256 容易受到干扰，对滤波要求较高而 HX711 则相对稳定[7]。由于电子秤对处理速度要求不高，本设计选择性价比较高的方案 2，以 STC 单片机为控制器实现系统的悬臂梁式电子秤的设计。

3　理论分析与计算

将应变片贴在被测定物上，使其随着被测定对象的应变一起伸缩，此时应变片内部的金属箔就随着应变伸长或缩短其电阻随之变化。一般应变片的敏感栅使用的是铜铬合金，其电阻变化率为常数，与应变成正比例关系。即：

$$\Delta R/R = K \times \varepsilon \tag{1}$$

式中：R 为应变片的原电阻值，设计中选用的应变片为 120 Ω；ΔR 为伸长或压缩引起的电阻变化；K 为应变常数；ε 为试件表面测点处与应变计敏感栅纵线方向平行的应变。不同的金属材料有不同的比例常数 K。铜铬合金的 K 值约为 2。应变的测量就通过应变片转换为对电阻变化的测量。但是由于应变是相当微小的变化，所以产生的电阻变化也是极其微小的[5-6]。例如计算 $1\ 000\times10^{-6}$ 的应变产生的电阻的变化，应变片的电阻值为是 120 Ω，即：

$$\Delta R/120 = 2\times1000\times10^{-6}$$

$$\Delta R = 120\times2\times1000\times10^{-6} = 0.24\ \Omega$$

电阻变化率为 $\Delta R/R = 0.24/120 = 0.002$

对该电阻变化较为微小的测量，设计中应变片的接入方式为全桥式，具体电路如图 3 所示。

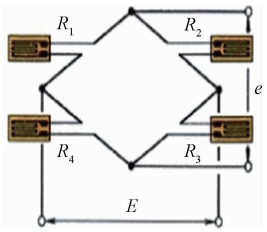

图 3　应变片的接入方式

如果 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ 或 $R_1\times R_2 = R_3\times R_4$ 则无论输入多大电压，输出电压 e 总为 0，这种状态称为平衡状态。如果平衡被破坏，就会产生与电阻变化相对应的输出电压。如图 3 所示，当 4 条边上的应变片的电阻分别引起如 $R_1+\Delta R$，$R_2-\Delta R$，$R_3+\Delta R$，$R_4-\Delta R$ 的变化时 4 枚应变片变化量绝对值相等，邻臂上的应变相减，对臂上的应变相加[8]。其输出为：

$$U_o = E\cdot\Delta R/R = K\cdot\varepsilon\cdot E \tag{2}$$

设计中选择箔式金属应变计，主要适用于 0.02 级的压力传感器制造工艺中，即满量程时输出误差在±0.02 的范围内。可同时实现温度自补偿和蠕变自补偿。

4　软硬件设计

4.1　硬件电路设计

硬件电路主要包含晶振电路、复位电路、LCD 显示电路、矩阵键盘电路及 A/D 转换电路。其中晶振电路为单片机提供稳定的时钟基准，是单片机系统正常运行的前提，设计中晶振选择 12 MHz；复位电路是为了预防程序跑飞而设计的，可使单片机及系统各部件处于确定的初始状态，并从初态开始工作，本系统具备上电复位和手动复位两个功能，其中上电复位利用电容的冲放电实现，手动复位利用按键触发实现，其实质为给单片机 RST 引脚一个高电平并维持 2 个机器周期；LCD 显示电路采用图形液晶显示器 LCD12864，可以实时显示重量、单价及金额的累加值，为了节省单片机的 I/O 资源，设计中采用 LCD 的串行连接方式；矩阵键盘要来实现对单价的设置，采用扫描法确定按键是否触发；SYN6288 语音模块用来播报重量、单价及金额的累加值，可通过单片机串口发送待合成的文本，实现文本到声音的转化。

HX711 是一款专为高精度称重传感器而设计的 24 位 A/D 转换器芯片。该芯片集成了包括稳压电源、片内时钟振荡器等其他同类型芯片所需要的外围电路,具有集成度高、响应速度快、抗干扰性强等优点。降低了电子秤的整机成本,提高了整机的性能和可靠性。该芯片与后端 MCU 芯片的接口和编程较简单,所有控制信号由管脚驱动,无需对芯片内部的寄存器编程。输入选择开关可任意选取通道 A 或通道 B,与其内部的低噪声可编程放大器相连。通道 A 的可编程增益为 128 或 64,对应的满额度差分输入信号幅值分别为±20 mV 或±40 mV。通道 B 则为固定的 32 增益,用于系统参数检测。设计中选择通道 A,具体电路如图 4 所示。

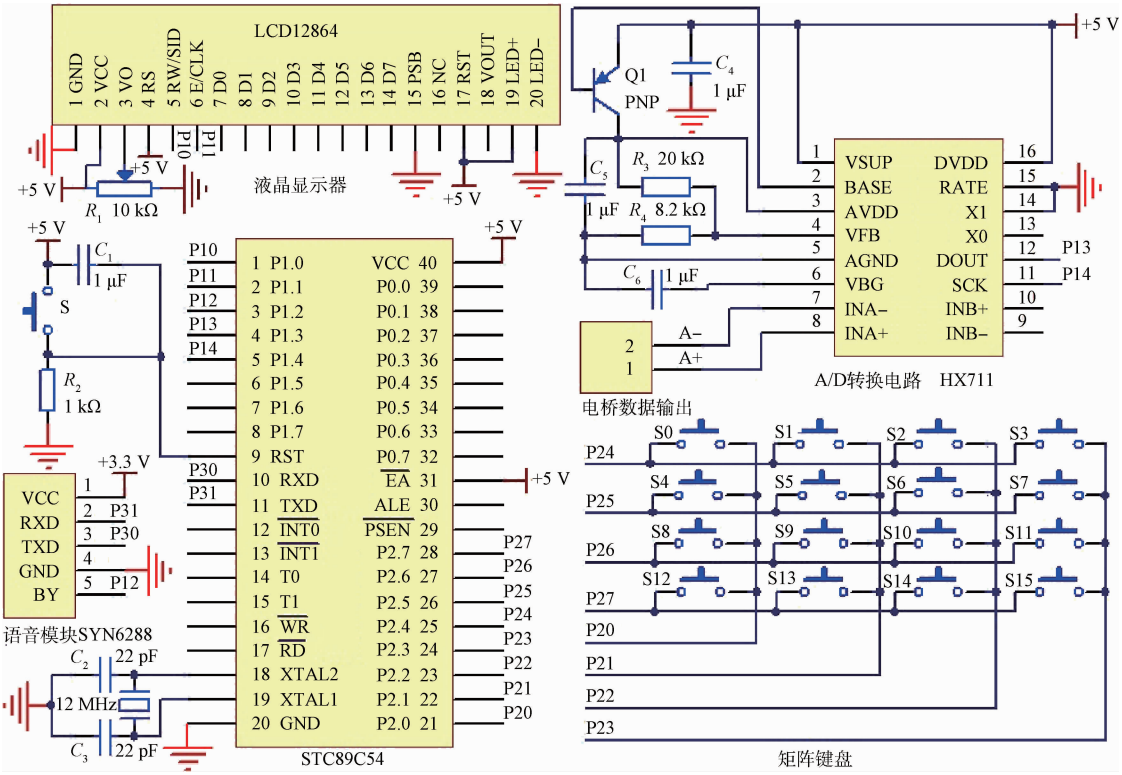

图 4　系统硬件电路

4.2　主程序设计

主程序是程序的入口,主要调用显示子程序、键盘子程序、A/D 转换子程序及语音播报子程序,实现对测量参数的实时显示与语音播报功能。具体流程图如图 5 所示。

5　系统测试

5.1　电桥软件与硬件调零

设计中采用高精度电阻式应变片很容易受到干扰,导致无输入时输出不为 0,所以设计初期必须调零。调零原则包含:传感器输入为 0 时,输出也为 0;不影响传感器的其他性能如灵敏度、稳定性、线性等[9-10]。调零电阻的大小与应变片的粘贴位置及悬臂梁的物理特性密切相关,具体调零电路如图 6 所示。

软件调零实质是记忆“零点”,然后在数据处理中消除,但会造成系统实时性降低[11-12]。

5.2　测试结果分析

测试中使用 5、50、100 及 200 g 的砝码,分别测试 8 次,具体测量结果如表 1 所示。

表 1　测量结果　(g)

测量重量	测量次数				
	1	2	3	4	5
5	5.10	4.95	4.98	5.13	5.20
10	10.10	10.02	9.95	10.13	10.15
50	50.32	50.25	50.20	50.18	50.22
100	99.55	99.75	100.35	100.55	100.68
200	200.44	200.38	199.50	199.28	199.75
250	250.72	249.55	250.02	250.11	249.85
300	301.01	300.75	300.58	300.65	300.42
400	399.20	399.25	400.21	400.58	400.89
500	501.00	500.86	501.03	500.55	499.52

6　系统调试及存在问题分析

6.1　电桥结构材料的选择

设计中如果电桥结构受力后产生塑性形变或形变恢

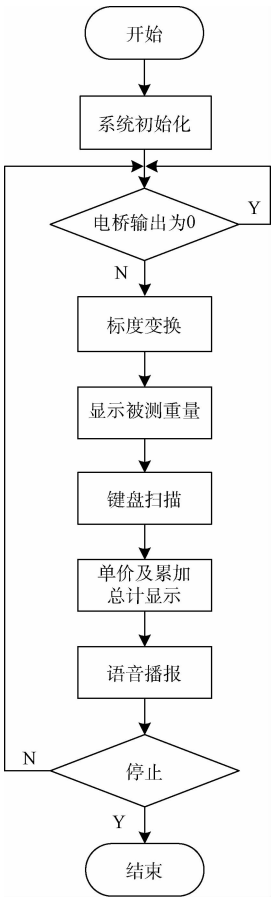

图 5　主程序流程

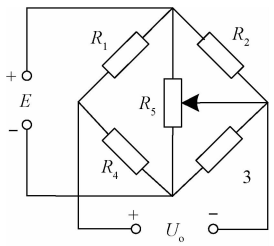

图 6　硬件调零电路

复较慢将直接影响应变片的稳定输出，设计中采用韧性较高的 40CR 钢为模型，将应变片粘贴于受力变化较为敏感的位置，形成等臂电桥。

6.2　应变片的粘贴

应变片粘贴不当直接影响其检测，粘贴前需用砂纸打磨掉桥臂的锈迹，并用乙醇擦拭干净，然后用速干胶粘贴并压实防止粘贴处有气泡产生；在应变片的输出引线下垫聚乙烯薄膜使应变片输出引线与金属桥臂绝缘。

6.3　测量精度影响因素分析

设计初期为了固定应变片使用热熔胶密封，结果由于应变片工作后发热，热熔胶引起应变片变形，导致测量结果不稳定；由于电源电压波动对测量系统中的 A/D 转换器的参考电压产生影响，从而引起测量误差增大，采用额定输出电压为 5 V 的大容量锂离子电池给系统供电，确保供电电源稳定性并提高测量精度；对于高精度的电子秤任何微小的外力都会直接影响测量精度，对于悬挂式秤盘的固定宜采用不宜发生形变的金属或将电子秤外围加玻璃罩，可以有效避免因空气流动造成的测量误差。具体实物如图 7 所示。

图 7　实物图

7　结　　论

本文通过对设计方案的对比，以钢制悬臂梁为模型，经过理论分析与计算、软硬件设计及系统测试等环节，证明了该悬挂式电子秤在兼顾精度的同时扩大了测量范围，扩展了单价设置、金额累加及语音播报等功能。突破了传统托盘式为主的高精度电子秤的测量范围与精度的限制，并对设计过程中遇到的电桥结构材料的选择、应变片的粘贴及测量精度的影响等问题进行了详细说明，对该类设计有一定的借鉴作用。

参考文献

[1]　田开云. 压电微传感器悬臂梁结构的优化设计[D]. 北京：北方工业大学，2013.

[2]　王改云，胡志强，周爱霞，等. 高精度电阻应变式无线压力变送器应用设计[J]. 电子技术应用，2014，40(1)：68-71.

[3]　朱婧，王益健. 装载机动态称重仪表的设计与实现[J]. 国外电子测量技术，2014，33(6)：95-98.

（下转第 41 页）