

---

# 2016 年广西大学生电子设计竞赛

简易电子秤（G 题）

【本科组】



2016 年 7 月 26 日

---

# 简易电子秤

**摘要：**本设计给出了 Arduino Mega 2560 芯片为核心的简易电子秤的基本原理与实现方案。该系统由悬臂平行梁、电阻应变片桥和 HX711 压力传感器三个模块构成，由 Arduino Mega 2560 单片机实现数据采集与控制功能。将电阻应变片粘贴到受力的力敏型弹性元件上，当弹性元件受力产生变形时，应变片产生相应的应变，转化成电阻变化。再由 24 位 A/D 转换器芯片 HX711 来进行电压采集，高精度的 AD 芯片和电阻应变片桥可以使测量精度达到 0.05g，将数据由通信总线传输到单片机进行数据转换，最后读出物品的重量，在 LCD 液晶屏上面显示出来。触摸键盘以及语音播报的功能，使得系统具有智能化、人性化的特色。

**关键词：**质量测量 电阻应变片桥 高精度 AD ATME2560 LCD 液晶

**引言：**称重传感器是一种将质量信号转变为可测量的电信号输出的装置，它是专门在衡器上使用的压力传感器，能将衡器上被测物体的重量按一定的函数关系转换成电信号输出[1]。1936-1938 年，美国加利福尼亚理工学院教授 E.Simmons（西蒙斯）和麻省理工学院教授 A.Ruge（鲁奇）分别同时研制出纸基丝绕式电阻应变计，并由美国 BLH 公司专利生产，型号为 SR-4，标志电阻应变式称重传感器诞生。[2]。经过 70 多年的发展，随着结构设计、制造工艺、感知原理以及电子技术水平都有了突飞猛进的进步，称重传感器出现的种类繁多，其精度、稳定性等技术指标有了质的飞跃[3]。本设计以电阻片为测量元件，制作简易的电子秤。

## 一、方案论证与设计

### 1.1 形变测量方案

方案一：霍尔传感器测量法，霍尔位置传感器是利用磁铁和集成霍尔元件间位置变化输出信号（霍尔电压  $U$ ）来测量微小位移。当通过半导体薄块的电流恒定时，霍尔电压  $U$  和半导体薄块所处的磁感应强度  $B$  成正比。采用 AD 芯片测量霍尔传感器输出的电压差值就可以得到求出形变量。

方案二：电阻应变片测量法，将应变片粘贴到受力的力敏型弹性元件上，当弹性元件受力产生变形时，应变片产生相应的应变，转化成电阻变化。将四个应变片

---

接成电桥，力引起的电阻变化将转换为测量电路的电压变化，通过测量输出电压的数值，再通过换算即可得到所测量物体的重量。

对以上两种方案进行比较，方案一霍尔传感器对外界环境要求高，使用复杂，使用时需要提高磁场，测量精度不高。采用方案二电桥的四个臂上接工作应变片，都参与机械变形，同处一个温度场，温度影响相互抵消，电压输出灵敏度高，可以满足系统高精度、高稳定度的要求。

## 1.2 电阻变化测量方案

方案一：使用普通的 A/D 芯片进行电压采集，再转换成电阻值。

方案二：使用专为高精度电子秤而设计的 24 位 A/D 转换器芯片 HX711 进行电压采集，再转换成电阻值。

对以上方案进行比较，使用普通的 AD 进行电压采集，精度不高，反应慢。而采用方案二，芯片集成了包括稳压电源、片内时钟振荡器等其它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。因此采用方案二来实现电阻值变化量的测量。

## 1.3 主控制器（MCU）方案

主控制器作为整个系统核心，数据采集，数据处理，算法计算等有正重要重要作用。下面讨论主控制器的选择。

方案一：选择 ST 公司的 32 位处理器 STM32F103x 作为处理器。增强型系列时钟频率达到 72MHz，是同类产品中性能最高的产品；基本型时钟频率为 36MHz，以 16 位产品的价格得到比 16 位产品大幅提升的性能，是 32 位产品用户的最佳选择。

方案二：选择 ATMEL 公司的传统八位微控制器 89C51 作为主控制器，它采用 ATMEL 公司可靠的 CMOS 工艺技术制造的高性能 8 位单片机，属于标准的 MCS-51 的 HCMOS 产品。它结合了 CMOS 的高速和高密度技术及 CMOS 的低功耗特征，它基于标准的 MCS-51 单片机体系结构和指令系统，属于 89C51 增强型单片机版本，集成了时钟输出和向上或向下计数器更多的功能，适合于类似马达控制等应用场合。

方案三：选择 Aduino 开源平台的 2560 芯片作为主控制器，可以快速使用 Arduino 与 Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider 等软件结合，作出互动作品。Arduino 可以使用现有的电子元件例如开关或者传感器或者其他控制器件、LED、步进马达或其他输出装置。Arduino 也可以独立运行，并与软件进行交互，例如：Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, VVVV 或其他互动软件。Arduino 的 IDE 界面基于开放源代码，可以免费下载使用，开发

出更多令人惊艳的互动作品。

综合以上三种方案，利用方案三。采用 Aduino2560 开源硬件作为主控制器，具有成本低，处理速度快，功耗低，程序精简的特点。而方案二中 89C5 虽然使用简单，但是 8 位的微控制器正在逐步被淘汰。方案一的 STM32 是高性能、低功耗的片上 SOC，但是对于电子秤又显得功能太丰富，且成本也相应增加。所以选择方案三。

## 1.4 显示部分设计方案

方案一：采用八位共阴极 LED 数码管进行显示，利用单片机串行口的移位寄存器工作方式，外接 MAX7219 串行输入共阴极显示驱动器，每片可驱动 8 个 LED 数码管。

方案二：采用点阵字符型 LCD 液晶显示，可以显示数字与阿拉伯字母等字符，随着半导体技术的发展，LCD 的液晶显示越来越广泛的应用于各种显示场合。

比较这两种方案，数码管显示驱动简单，但显示信息量少，功耗大；利用液晶显示可以工作在低电压、低功耗下，显示界面友好、内容丰富，综合考虑，选用 LCD 来实现显示功能。

# 二、原理分析与硬件电路图

根据赛题要求的任务，该简易电子秤系统包括电阻应变片桥、HX711 压力传感器和微处理器三个模块，由于三个模块相对独立，以下分别对其进行原理分析与电路设计。

## 2.1 电阻应变片桥

### (1) 原理分析

金属丝电阻应变片的典型结构如图 2.1 所示。将一高电阻率的金属丝绕成栅形，粘贴在绝缘基片上，并引出导线到电路中[4]。

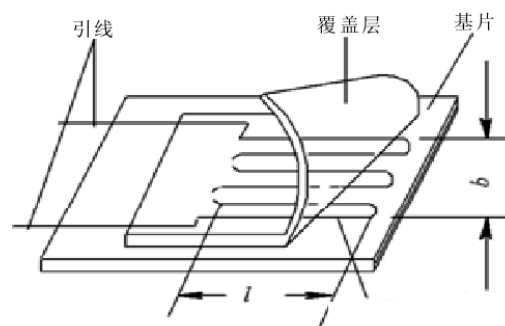


图 2.1 电阻应变片结构图

设该均匀的金属丝长度为  $L$ ，横截面为  $S$ ，电阻率为  $\rho$ ，则未受外力作用的情况

下，它的电阻值为  $R$ ，

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2.1)$$

当该金属丝受到力  $F$  作用时，由于金属丝的长度  $L$ 、截面积  $S$  以及电阻率  $\rho$  都将随着金属丝的形变而发生变化，从而引起  $R$  的变化。由式(2.1)的全微分可以求得电阻值的变化为

$$dR = \frac{L}{S} d\rho + \frac{\rho}{S} dL - \frac{\rho L}{S^2} dS \quad (2.2)$$

用相对变化量表示，则有

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho_0} + \frac{dL}{L_0} - \frac{dS}{S_0} = \frac{d\rho}{\rho_0} + \left(1 - \frac{dS/S_0}{dL/L_0}\right) \frac{dL}{L_0}$$

式中  $\frac{dL}{L_0} = \varepsilon$ ， $\varepsilon$  为纵向应变； $\frac{dS/S_0}{dL/L_0} = -\nu$  其中  $\nu$  为泊松比，负号表示方向相反； $\frac{d\rho}{\rho_0} = \lambda E \varepsilon$ ， $\lambda$  为压阻系数，与材质有关； $E$  为杨氏弹性模量。

因此可得

$$\frac{dR}{R} = (1 + \nu + \lambda E) \varepsilon$$

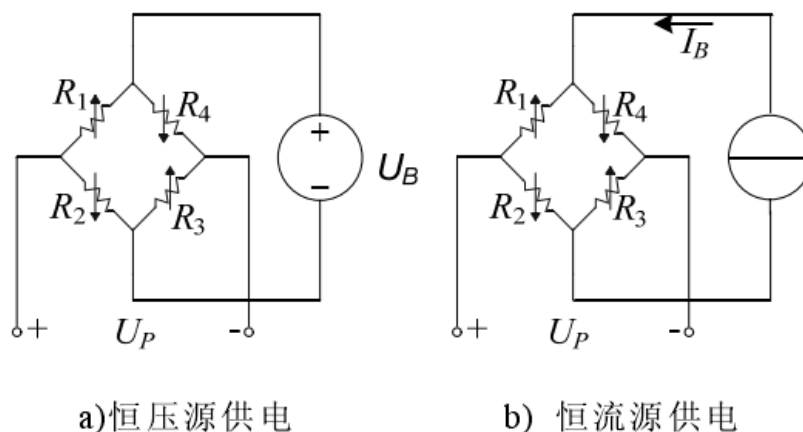
令  $G = 1 + \nu + \lambda E$ ，则有

$$\frac{dR}{R} = G \varepsilon \quad (2.5)$$

可见，金属丝的电阻值变化量与纵向应变变量呈比例关系。式(2.5)中  $G$  称为材料的压力灵敏度系数或者应变计因子，其物理意义是材料发生单位应变时的电阻变化量。在设计称重传感器时，一般考虑使重量与纵向应变变量呈常数关系。可将  $G$  的表达式为解成两部分，一部分是  $(1+\nu)$ ，它表示材料的几何尺寸的变化；另一部分为  $\lambda E$ ，表示材料受力后电阻率变化，即材料压力灵敏系数的两个组成因素。对于金属材料， $\lambda E$  的值很小，可以忽略， $G$  的值一般在 1.5-2 之间，而对于半导体材料， $\lambda E$  占主导作用， $G$  可高达 100 以上，但它受温度的影响也随之增大，因此电阻应变片设计时一般采用金属材料，其压力灵敏度系数选在 1.7-3.6 之间。

## (2) 应变电桥及其供电方式分析

设计应变片时，为了提高满量程输出，减少零点的漂移和提高线性度，通常在硅弹性膜片上制作四个相同的感压电阻，并将它们连接成惠斯通电桥的形式。电桥的供电一般采用恒压源或者恒流源[19]，原理示意图如图 2.2 所示。



**图 2.2 应变电桥供电方式**

采用电压源供电时，电桥的输出受温度影响，这是它最大的缺点。但由于电路简单，方便将多个传感器并联到同一电压源使用，而且桥压精度引起的误差可以由后面章节中介绍的比例称重技术进行消除，电压源供电方法在实际应用中使用较多。

采用恒流源方式供电方式的输出与桥臂电阻的阻值无关，只与变化量有关，最主要的是它的输出不受温度的影响，温度稳定性非常好。但是这种供电电路较恒压方式复杂，恒流源的精度及噪声对输出同样有影响。

以上介绍的两种供电方式均采用直流供电，直流供电的优点是电路简单、成本低，且可靠性高；缺点是由于运放失调、电路中热电偶效应而产生的直流误差会加进信号中，引起误差，且直流失调是不固定的，由于存在温度漂移和热噪声源以及低频噪声，导致误差呈随机性，难以去除。因此，在很多场合采用交流供电的方法。交流供电实质为一调幅器，应桥电桥将重力的变化转化成振幅的变化，为了得到被测信号，需要对调幅波进行解调。由于交流供电的实现电路复杂、供电较为麻烦，因此采用直流供电的方法。

### (3) 应变电桥的比例称重技术分析

由前文可知，对于恒压源供电的应变电桥，其输出受桥压的影响，桥压的微小波动都会导致输出结果的变化。可见，为了使桥压的变化不至于影响输出结果，对于分度数为  $F$  的称重传感器，要求恒压源的稳定度优于  $\frac{1}{F}$ 。实际中桥压一般采用串联稳压电路实现，稳定性较好，但温度影响较大，通电时间一长本身温度也会升高，需要选用更精密的器件来防止温漂的产生。对于几千分度的称重传感器，这个要求基本可以满足，但当分度数要求上万甚至更高时，要达到这个指标的恒压源无论从技术还是成本上都有难度。

因此，在实际应用中一般采用比例称重技术来克服这个问题，其连接方法如图 2.3 所示。

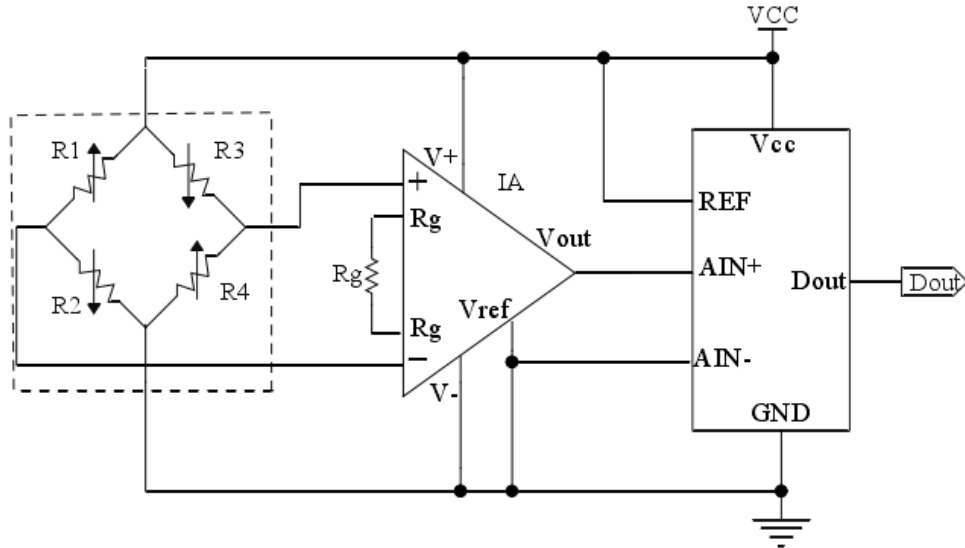


图 2.3 比例称重电路结构图

图 2.3 中，IA 为仪用放大器；其放大倍数为 A；A/D 转换器的参考电压取自电桥的桥压（或者桥压的固定分压），则 A/D 转换器的输出为

$$D_{out} = \frac{A \cdot U_P}{V_{REF}} = A \frac{\Delta R}{R} U_B \frac{1}{V_{REF}} = A \frac{\Delta R}{R}$$

采用恒流源供电的称重传感器也可以采用比例称重的方法，只需要电桥供电电流与 A/D 转换器的参考电压呈常数倍关系即可。

## 2.2 HX711 压力传感器

### (1) 原理分析：

根据设计要求，系统要求测量的重量为 5g~500g 重量小于 50g，称重误差小于 0.5g；重量在 50g 及以上，称重误差小于 1g 因此，给定量的执行元件 A/D 转换器至少需要 8 位的转换精度。结合系统的设计要求，并考虑到单片机的 I/O 接口资源紧张等因素，最终确定选用 HX711 量化精度能达到  $1/4096 < 1/256$ ，完全能达到设计的精度要求。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。与同类型其它芯片相比，该芯片集成了包括稳压电源、片内

时钟振荡器等其它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 芯片的接口和编程非常简单，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  $\pm 20\text{mV}$  或  $\pm 40\text{mV}$ 。通道 B 则为固定的 64 增益，用于系统参数检测。本设计选择的是通道 A。芯片内提供的稳压电源可以直接向外部传感器和芯片内的 A/D 转换器提供电源，系统板上无需另外的模拟电源，上电复位功能简化了开机的初始化过程。

## （2）原理电路：

HX 711 接口电路如图所示

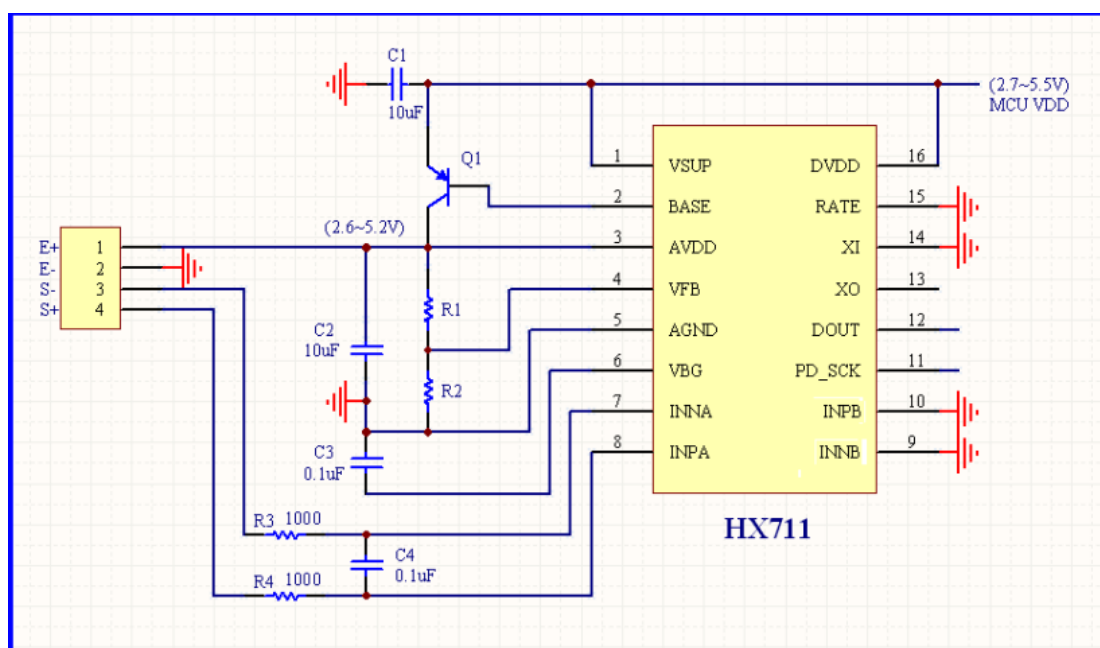


图 2.4 与 HX711 相关部分的 PCB 板参考设计线路图

## 三、软件设计与流程

### 3.1 系统软件介绍：

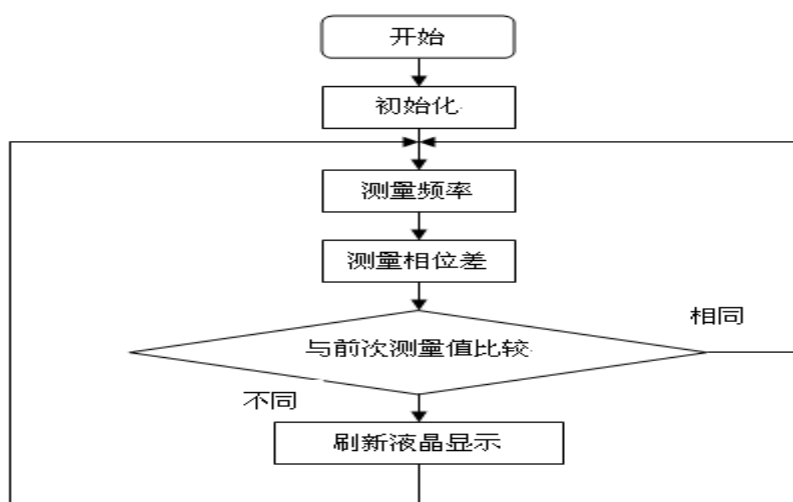
软件部分采用模块化程序设计的方法，由主控制程序、液晶显示部分子程序、键盘服务子程序、语音提示部分子程序组成。我们选用 Arduino 开源平台的 Atmel 公司推出的 16 位单片机微控制器 2560，Mega2560 的处理器核心是 ATmega2560，同时具有 54 路数字输入/输出口（其中 16 路可作为 PWM 输出），16 路模拟输入，



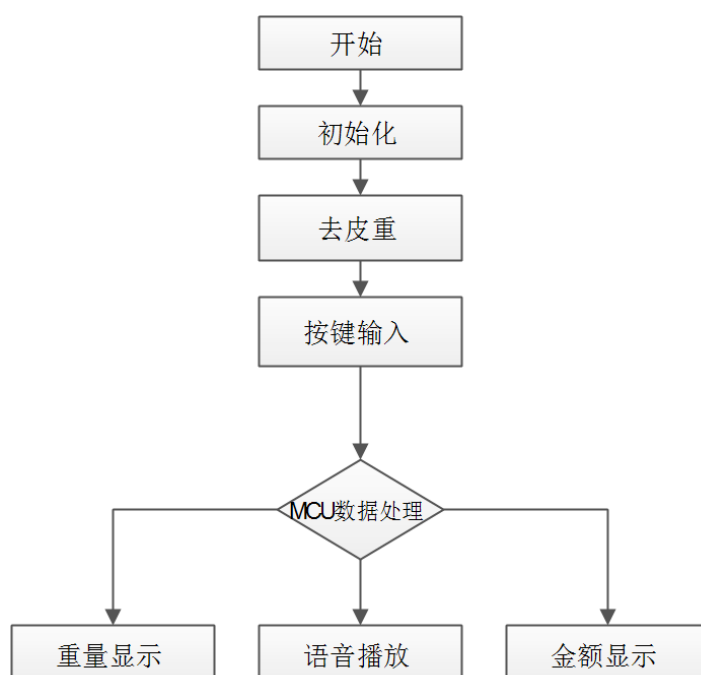
4 路 UART 接口，一个 16MHz 晶体振荡器，一个 USB 口，一个电源插座，一个 ICSP header 和一个复位按钮。可以快速使用 Arduino 与 Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider 等软件结合，作出互动作品。Arduino 可以使用现有的电子元件例如开关或者传感器或者其他控制器件、LED、步进马达或其他输出装置。Arduino 也可以独立运行，并与软件进行交互，例如：Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, VVVV 或其他互动软件。Arduino 的 IDE 界面基于开放源代码，可以免费下载使用，开发出更多令人惊艳的互动作品。

### 3.2 程序流程图

(1) HX711 模块流程图如图



(2) 单片机 LED 显示及语音部分流程图如图



---

## 四、系统测试与误差分析

4.1 测试环境时间：2016 年 7 月 27 日温度：27<sup>0</sup>C

### 4.2 测试仪器

- (1) FLUKE17B 多功能数字万用表
- (2) 数字示波器 TDS1002
- (3) Arduino2560 开发板
- (4) 电子天平

### 4.3 测试方法硬件模块测试：

系统本身由三个独立的模块构成，所以分三部分进行调试，首先测试金属臂上的贴片电阻应变片的电阻值，然后将电桥的输出接入到 24 位 AD 芯片 HX711。最后把读取到的 AD 值在 Arduino 中进行滤波，数据处理。

软件模块测试：采用自下而上的调试方式，先进行模块测试程序的调试，待全部通过之后将所有的软件程序串接起来并结合硬件电路进行整体调试。

### 4.4 测试数据

(1) 4.5g 重量的物品测试结果如表 4-1

次数	1	2	3	4	5	6
测量值/g	4.6	4.5	4.4	4.7	4.3	4.8

表 4-1

(2) 49.7g 重量的物品测试结果如表 4-2

次数	1	2	3	4	5	6
测量值/g	49.5	49.3	49.7	49.8	50.2	50.0

表 4-2

(3) 99.8g 重量的物品测试结果如表 4-3

次数	1	2	3	4	5	6
测量值/g	99.6	100.2	100.4	99.5	99.4	99.7

表 4-3

(4) 200g 重量的物品测试结果如表 4-4

次数	1	2	3	4	5	6
测量值/g	199.5	199.8	200.2	199.5	199.6	200.6

表 4-4

(5) 500g 重量的物品测试结果如表 4-5

次数	1	2	3	4	5	6
测量值/g	500.7	500.6	499.8	499.6	499.3	500.2

表 4-5

(5) 800g 重量的物品测试结果如表 4-6

次数	1	2	3	4	5	6
测量值/g	800.6	799.7	799.5	800.3	800.2	799.4

表 4-6

(6) 1000g 重量的物品测试结果如表 4-7

次数	1	2	3	4	5	6
测量值/g	1000.6	1000.4	1000.5	999.8	1000.8	1000.9

表 4-7

## 4.5 误差分析

(1) 金属臂的形变量大小是误差的主要来源。电阻应变片是贴在铁质金属表面的，由于金属形变非常小，很难测量，所以在挂载物品重量较小时，形变微小，很难测量到，这使得在测量微小质量物品时，误差较大。但是在物品质量很大的时候，金属会发生非常大的形变，容易测量到，测量精度较高，此时金属臂有可能无法恢复，会影响后续测量。

(2) 噪声在电子系统中普遍可见，电子噪声一般包括电子器件本身的噪声和外部干扰。外部干扰一般包括传导噪声和辐射噪声，由于传导噪声、辐射噪声和器件本身的噪声等噪声的加入，从而导致电子系统性能指标的降低。采用模块分离结构的智能化数字称重传感器仍采用传统模拟应变片来进行称量，其信号输出幅度小，一般只有 mV 级，需要进行一定倍数的放大。在这个过程中会产生噪声，放大器将噪声一起放大，使信噪比下降，影响数字称重传感器的精度。

## 五、总结

本系统实现了题目基本部分以及发挥部分的要求，经过测试，电子秤可以数字显示被称物体的重量，称重范围 5.00g~500g，扩大称重范围至 5.00~1000.00g；重量小于 50g，称重误差小于 0.5g；重量在 50g 及以上，称重误差小于 1g；可以设置单价（元/克），可计算物品金额并实现金额累加；具有去皮功能，去皮范围不超过 100g；人机交互接口采用液晶触摸 LCD 显示，带语音提示的模式；由于单片机留有空闲的 I/O 口，因此可以进一步对系统的功能进行扩展，比如加入相位测量的自适应调节、手机 APP 或者将语音播报的功能进一步完善等，使得系统更趋于智能化、人性化的特点。

[1] 林海军. 汽车衡多传感器相关性与智能容错方法研究: [湖南大学博士学位论文]. : 湖南大学电气与信息工程学院, 2009, 1-4.

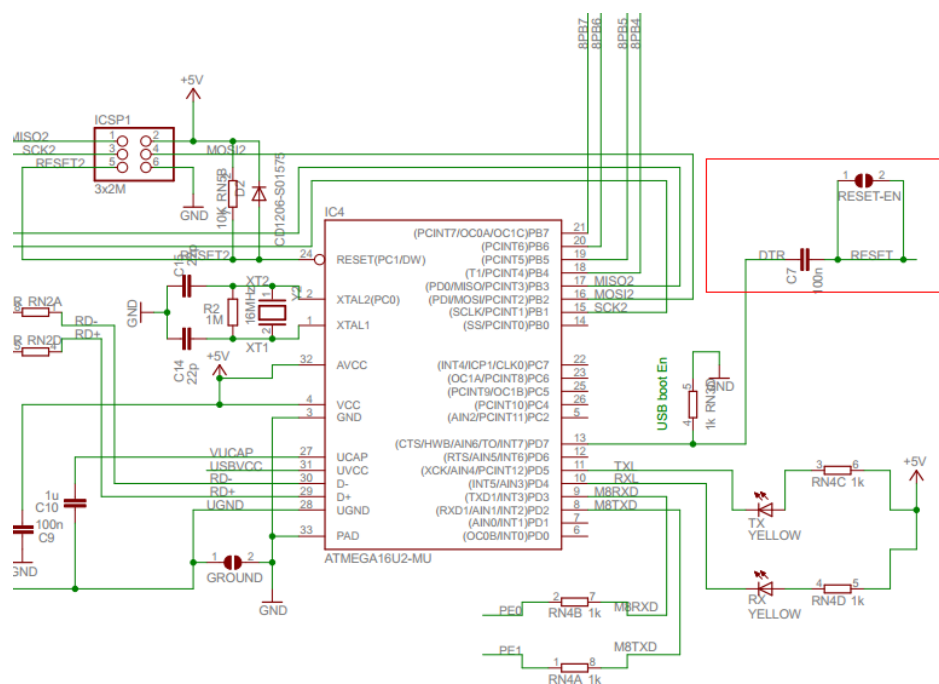
[2] 刘元财. 高精度数字式智能化称重传感器: [山东大学硕士学位论文]. 济南: 山东大学信息科学与工程学院, 2010, 7-10.

[3] Arduino 实战:(美)Martin Evans 等. 人民邮电出版社, 2014

[4] 计算机硬件技术基础 (第二版). 北京: 清华大学出版社, 2000.

[5] 王福昌. 锁相技术. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997.

附录 1: 单片机最小系统原理图



## 附录 2: 压力传感器电路原理图

