

|        |                                   |      |            |
|--------|-----------------------------------|------|------------|
| 实验名称   | 实验八 力传感器实验                        |      |            |
| 姓 名    | 张厚今                               | 组别   |            |
| 同组实验者  |                                   |      |            |
| 指导教师   | 徐文正                               | 实验日期 | 2020.05.25 |
| 指导教师评语 | 指导教师签名: _____<br>_____年____月____日 |      |            |
| 实验成绩   |                                   |      |            |

# 山东科技大学实验报告书

## 实验八 力传感器实验

### 一、实验目的

掌握力传感器的选择方法，掌握力传感器的种类、精度等静态性能和动态性能、使用方法等，掌握力传感器的性能分析步骤。

### 二、实验要求

根据力检测实际需求的范围、精度等来选择某一力传感器，分析其性能，阐述选择方法，然后来计算其动态性能，看是否符合要求，并介绍其使用方法。

### 三、实验步骤

#### 3.1 力传感器分类

压力传感器是将压力转换为电信号输出的传感器。压力传感器一般由弹性敏感元件和位移敏感元件(或应变计)组成。弹性敏感元件的作用是使被测压力作用于某个面积上并转换为位移或应变，然后由位移敏感元件或应变计转换为与压力成一定关系的电信号。有时把这两种元件的功能集于一体。压力传感器广泛应用于各种工业自控环境，涉及水利水电、船舶、机床、管道等众多行业。

#### 3.2 力传感器类型

力学传感器的种类繁多，如电阻应变片压力传感器、半导体应变片压力传感器、压阻式压力传感器、电感式压力传感器、电容式压力传感器、谐振式压力传感器及电容式加速度传感器等。但应用最为广泛的是压阻式压力传感器，它具有极低的价格和较高的精度以及较好的线性特性。

##### 3.2.1 压阻式力传感器

电阻应变片是压阻式应变传感器的主要组成部分之一。电阻应变片的工作原理是吸附在基体材料上应变电阻随机械形变而产生阻值变化的现象，俗称为电阻应变效应。如下图 3.1 所示。

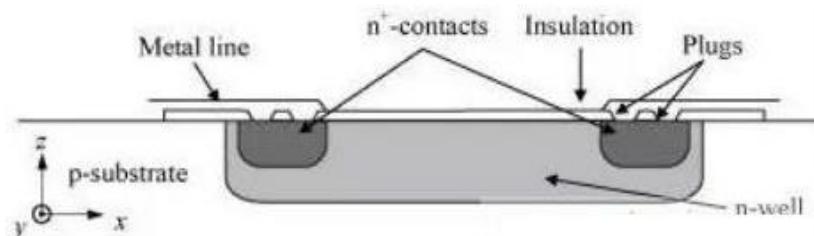


图 3.1 压阻式力传感器

# 山东科技大学实验报告书

大多数金属材料与半导体材料都被发现具有压阻效应。其中半导体材料中的压阻效应远大于金属。由于硅是现今集成电路的主要，以硅制作而成的压阻性元件的应用就变得非常有意义。的电阻变化不单是来自与应力有关的几何形变，而且也来自材料本身与应力相关的电阻，这使得其程度因子大于金属数百倍之多。N 型硅的电阻变化主要是由于其三个导带谷对的位移所造成不同迁移率的导带谷间的载子重新分布，进而使得电子在不同流动方向上的迁移率发生改变。其次是由于来自与导带谷形状的改变相关的等效质量(effective mass)的变化。在 P 型硅中，此现象变得更复杂，而且也导致等效质量改变及电洞转换。

压阻压力传感器一般通过引线接入惠斯登电桥中。平时敏感芯体没有外加压力作用，电桥处于平衡状态（称为零位），当传感器受压后芯片电阻发生变化，电桥将失去平衡。若给电桥加一个恒定电流或电压电源，电桥将输出与压力对应的电压信号，这样传感器的电阻变化通过电桥转换成压力信号输出。电桥检测出电阻值的变化，经过放大后，再经过电压电流的转换，变换成相应的电流信号，该电流信号通过非线性校正环路的补偿，即产生了与输入电压成线性对应关系的输出信号。

## 3.2.2 压电压力传感器

压电式压力传感器主要基于压电效应（Piezoelectric effect），利用电气元件和其他机械把待测的压力转换成为电量，再进行相关测量工作的测量精密仪器，比如很多压力变送器和压力传感器。压电传感器不可以应用在静态的测量当中，原因是受到外力作用后的电荷，当回路有无限大的输入抗阻的时候，才可以得以保存下来。但是实际上并不是这样的。因此压电传感器只可以应用在动态的测量当中。它主要的压电材料是：磷酸二氢胺、酒石酸钾钠和石英。压电效应就是在石英上发现的。

当应力发生变化的时候，电场的变化很小很小，其他的一些压电晶体就会替代石英。酒石酸钾钠，它是具有很大的压电系数和压电灵敏度的，但是，它只可以使用在室内的湿度和温度都比较低的地方。磷酸二氢胺是一种人造晶体，它可以在很高的湿度和很高的温度的环境中使用，所以，它的应用是非常广泛的。随着技术的发展，压电效应已经在多晶体上得到应用了。例如：压电陶瓷，铌镁酸压电陶瓷、铌酸盐系压电陶瓷和钛酸钡压电陶瓷等等都包括在内。

# 山东科技大学实验报告书

以压电效应为工作原理的传感器，是机电转换式和自发电式传感器。如下图 3.2 所示。它的敏感元件是用压电的材料制作而成的，而当压电材料受到外力作用的时候，它的表面会形成电荷，电荷会通过电荷放大器、测量电路的放大以及变换阻抗以后，就会被转换成为与所受到的外力成正比关系的电量输出。它是用来测量力以及可以转换成为力的非电物理量，例如：加速度和压力。它有很多优点：重量较轻、工作可靠、结构很简单、信噪比很高、灵敏度很高以及信频宽等等。但是它也存在着某些缺点：有部分电压材料忌潮湿，因此需要采取一系列的防潮措施，而输出电流的响应又比较差，那就要使用电荷放大器或者高输入阻抗电路来弥补这个缺点，让仪器更好地工作。



图 3.2 压电压力传感器

### 3.2.3 电容式压力传感器

电容式压力传感器是一种利用电容作为敏感元件，将被测压力转换成电容值改变的压力传感器。这种压力传感器一般采用圆形金属薄膜或镀金属薄膜作为电容器的一个电极，当薄膜感受压力而变形时，薄膜与固定电极之间形成的电容量发生变化，通过测量电路即可输出与电压成一定关系的电信号。电容式压力传感器属于极距变化型电容式传感器，可分为单电容式压力传感器和差动电容式压力传感器。

单电容式压力传感器由圆形薄膜与固定电极构成。薄膜在压力的作用下变形，从而改变电容器的容量，其灵敏度大致与薄膜的面积和压力成正比而与薄膜的张力和薄膜到固定电极的距离成反比。另一种型式的固定电极取凹形球面状，膜片为周边固定的张紧平面，膜片可用塑料镀金属层的方法制成。这种型式适于测量低压，并有较高过载能力。还可以采用带活塞动极膜片制成测量高压的单电容式压力传感器。这种型式可减小膜片的直接受压面积，以便采用较薄的膜片提高灵敏度。它还与各种补偿和保护部以及放大电路整体封装在一起，以便提高抗干扰

# 山东科技大学实验报告书

能力。这种传感器适于测量动态高压和对飞行器进行遥测。单电容式压力传感器还有传声器式（即话筒式）和听诊器式等型式。

差动电容式压力传感器的受压膜片电极位于两个固定电极之间，构成两个电容器。在压力的作用下一个电容器的容量增大而另一个则相应减小，测量结果由差动式电路输出。它的固定电极是在凹曲的玻璃表面上镀金属层而制成。过载时膜片受到凹面的保护而不致破裂。差动电容式压力传感器比单电容式的灵敏度高、线性度好，但加工较困难（特别是难以保证对称性），而且不能实现对被测气体或液体的隔离，因此不宜于工作在有腐蚀性或杂质的流体中。

## 3.2.4 电磁压力传感器

多种利用电磁原理的传感器统称，主要包括电感压力传感器、霍尔压力传感器、电涡流压力传感器等。

### （1）电感压力传感器

电感式压力传感器的工作原理是由于磁性材料和磁导率不同，当压力作用于膜片时，气隙大小发生改变，气隙的改变影响线圈电感的变化，处理电路可以把这个电感的变化转化成相应的信号输出，从而达到测量压力的目的。该种压力传感器按磁路变化可以分为两种：变磁阻和变磁导。电感式压力传感器的优点在于灵敏度高、测量范围大；缺点就是不能应用于高频动态环境。如下图 3.3 所示。



图 3.3 电感压力传感器

### （2）变磁阻式压力传感器

变磁阻式压力传感器主要部件是铁芯跟膜片。它们跟之间的气隙形成了一个磁路。当有压力作用时，气隙大小改变，即磁阻发生了变化。如果在铁芯线圈上加一定的电压，电流会随着气隙的变化而变化，从而测出压力。如下图 3.4 所示。

# 山东科技大学实验报告书

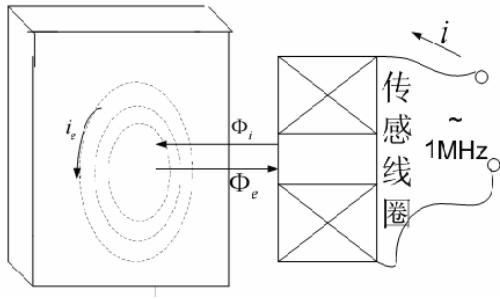


图 3.4 变磁阻式压力传感器原理

在磁通密度高的场合，铁磁材料的导磁率不稳定，这种情况下可以采用变磁导式压力传感器测量。变磁导式压力传感器用一个可移动的磁性元件代替铁芯，压力的变化导致磁性元件的移动，从而磁导率发生改变，由此得出压力值。

### (3) 霍尔压力传感器

霍尔压力传感器是基于某些半导体材料的霍尔效应制成的。霍尔效应是指当固体导体放置在一个磁场内，且有电流通过时，导体内的电荷载子受到洛伦兹力而偏向一边，继而产生电压（霍尔电压）的现象。电压所引致的电场力会平衡洛伦兹力。通过霍尔电压的极性，可证实导体内部的电流是由带有负电荷的粒子（自由电子）之运动所造成。

在导体上外加与电流方向垂直的磁场，会使得导线中的电子受到洛伦兹力而聚集，从而在电子聚集的方向上产生一个电场，此电场将会使后来的电子受到电力作用而平衡掉磁场造成的洛伦兹力，使得后来的电子能顺利通过不会偏移，此称为霍尔效应。而产生的内建电压称为霍尔电压。如下图 3.5 所示。

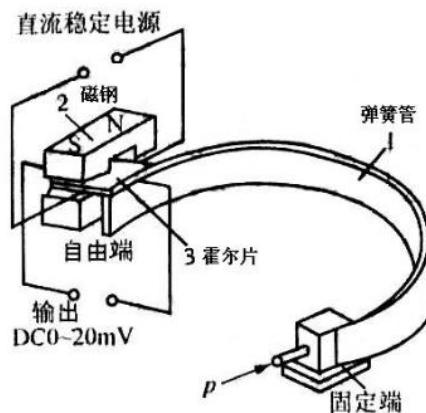


图 3.5 霍尔压力传感器原理

当磁场为一交变磁场时，霍尔电动势也为同频率的交变电动势，建立霍尔电动势的时间极短，故其响应频率高。理想霍尔元件的材料要求要有较高的电阻率

# 山东科技大学实验报告书

及载流子迁移率，以便获得较大的霍尔电动势。常用霍尔元件的材料大都是半导体，包括 N 型硅(Si)、锑化铟(InSb)、砷化铟 InAs)、锗(Ge)、砷化镓 GaAs)及多层半导体质结构材料，N 型硅的霍尔系数、温度稳定性和线性度均较好，砷化镓温漂小，目前应用。

## (4) 电涡流压力传感器

基于电涡流效应的压力传感器。电涡流效应是由一个移动的磁场与金属导体相交，或是由移动的金属导体与磁场垂直交会所产生。简而言之，就是电磁感应效应所造成。这个动作产生了一个在导体内循环的电流，如下图 3.6 所示。

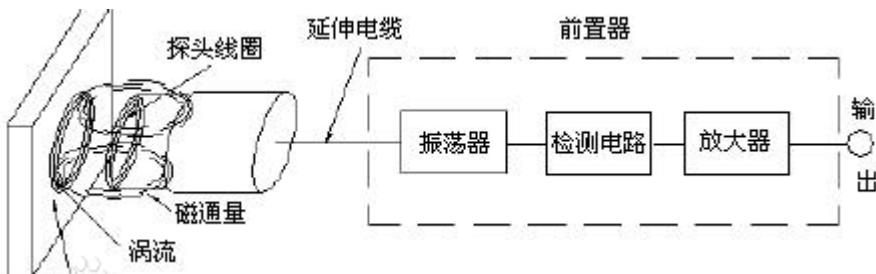


图 3.6 电涡流压力检测

电涡流特性使电涡流检测具有零频率响应等特性，因此电涡流压力传感器可用于静态力的检测。

### 3.2.5 振弦式压力传感器

振弦式压力传感器属于频率敏感型传感器，这种频率测量具有相当高的准确度，因为时间和频率是能准确测量的物理量参数，而且频率信号在传输过程中可以忽略电缆的电阻、电感、电容等因素的影响。同时，振弦式压力传感器还具有较强的抗干扰能力，零点漂移小、温度特性好、结构简单、分辨率高、性能稳定，便于数据传输、处理和存储，容易实现仪表数字化，所以振弦式压力传感器也可以作为传感技术发展的方向之一。其外观如下图 3.7 所示。



图 3.7 振弦式压力传感器

# 山东科技大学实验报告书

振弦式压力传感器的敏感元件是拉紧的钢弦，敏感元件的固有频率与拉紧力的大小有关。弦的长度是固定的，弦的振动频率变化量可用来测算拉力的大小，即输入是力信号，输出的是频率信号。振弦式压力传感器分为上下两个部分组成，下部构件主要是敏感元件组合体。上部构件是铝壳，包含一个电子模块和一个接线端子，分成两个小室放置，这样在接线时就不会影响电子模块室的密封性。

振弦式压力传感器可以选择电流输出型和频率输出型。振弦式压力传感器在运作式，振弦以其谐振频率不停振动，当测量的压力发生变化时，频率会产生变化，这种频率信号经过转换器可以转换为 4~20mA 的电流信号。

## 3.3 力传感器选型

本次实验以“为单片机选择压力传感器进行压力测量”作为具体的实验场景，单片机选择使用 51 单片机。上文中已经讨论了压阻式传感器、压电压力式传感器、电容压力传感器、电磁式压力传感器以及振弦式压力传感器等不同种类的压力传感器类型，分析了不同传感器的测量原理以及常见的应用场景。在本次实验的场景下，位单片机选择合适的压力传感器时，可以使用电阻应变式传感器 HX711。

## 3.4 传感器参数

压力传感器选择了国产芯片 HX711，该传感器电阻桥输出与压力成正比的差分电压信号，其工作偏置电压，量程范围都比较固定。HX711 是专门为单片机电路进行称量实验的芯片。通过查阅芯片手册，可以找到该芯片的封装，如下图 3.8 所示。

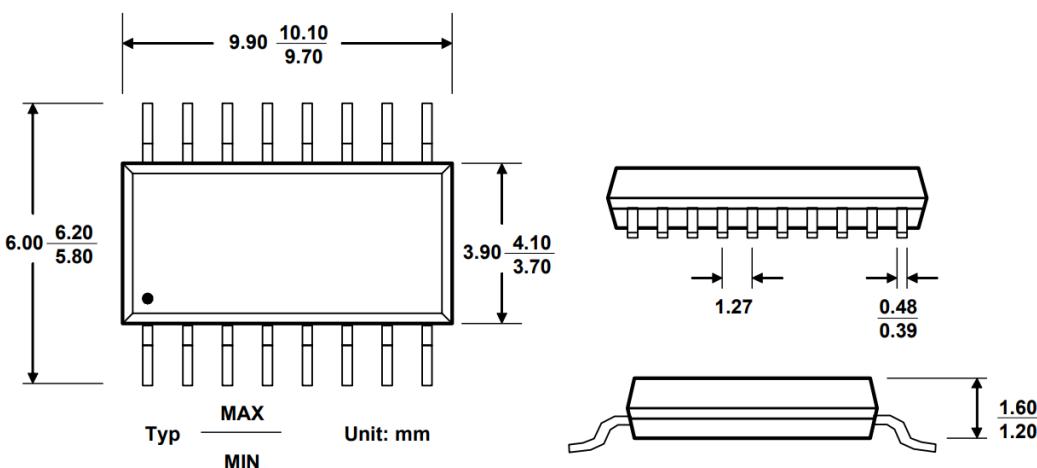


图 3.8 元件封装

# 山东科技大学实验报告书

其原件包括外部的电阻应变片以及一个 AD 转换芯片。电阻应变片外观如下图 3.9 所示，AD 转换模块如下图 3.10 所示。



图 3.9 电阻应变片外观

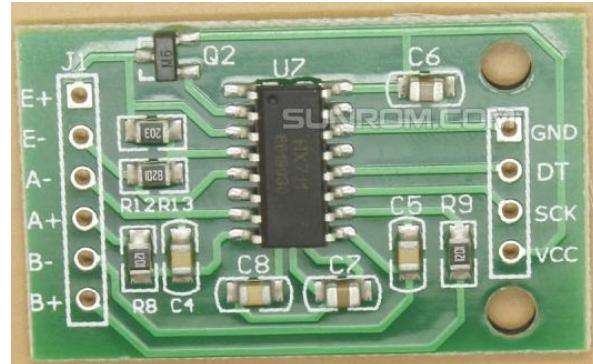


图 3.10 数模转换芯片

其技术参数如下表所示。

|         |                  |      |                |
|---------|------------------|------|----------------|
| 称重传感器量程 | 10KG, 20kg, 40KG | 蠕变   | 0. 03%         |
| 电源电压    | 5V-10V           | 零点输出 | <2%            |
| 非线形     | 0. 02~0. 05%F. S | 温度飘移 | <0. 005%F. S/C |
| 不重复性    | 0. 02~0. 05%F. S | 工作温度 | -20~80         |
| 滞后      | 0. 02~0. 05%F. S | 过载能力 | 150%           |
| 灵敏度     | 2. 0MV/V         | 绝缘电阻 | 2000MΩ/50DC    |

参数表中，灵敏度：2.0mv/v 的含义是：假如供电电压是 5.0v，当传感器满量程的时候，绿色、黑色线之间有  $2.0\text{mv}/\text{v} * 5.0\text{v} = 10\text{mv}$  的差分电压输出。例如：传感器的量程是 10kg，供电电压是 5v，那么这个传感器在受力 10kg 的时候，绿色、黑色之间输出有  $2.0\text{mv}/\text{v} * 5.0\text{v} = 10\text{mv}$  的压差。

在单片机中连接电阻应变片以及 AD 转换电路，其典型压力测量的电路连接框图如下图 3.11 所示。

# 山东科技大学实验报告书

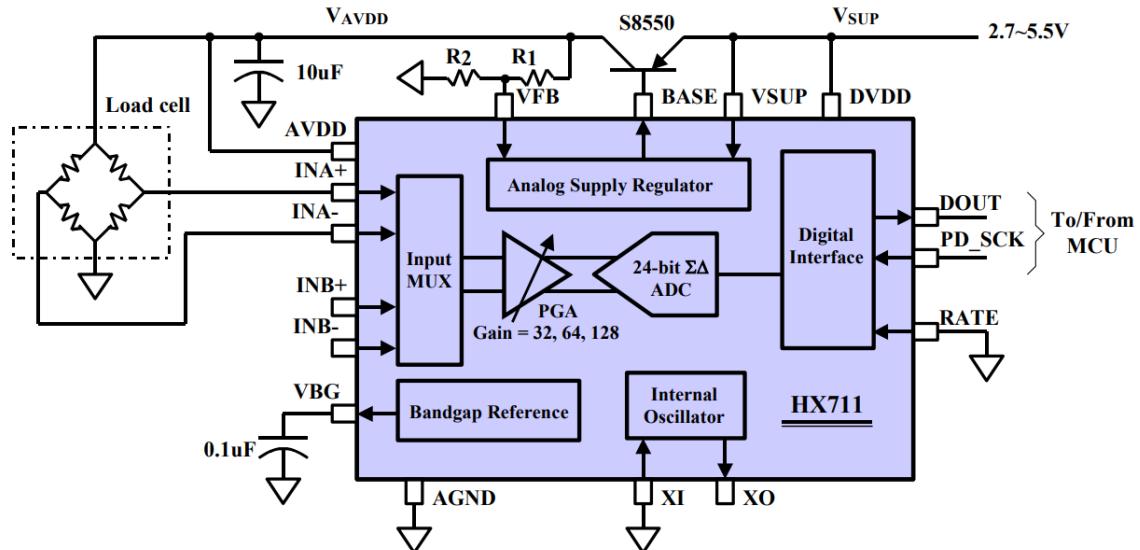


图 3.11 压力称量电路

单片机连接 AD 转换电路，通过 SPI 总线协议传输压力传感器的数据。数据通信的控制时序如下图 3.12 所示。

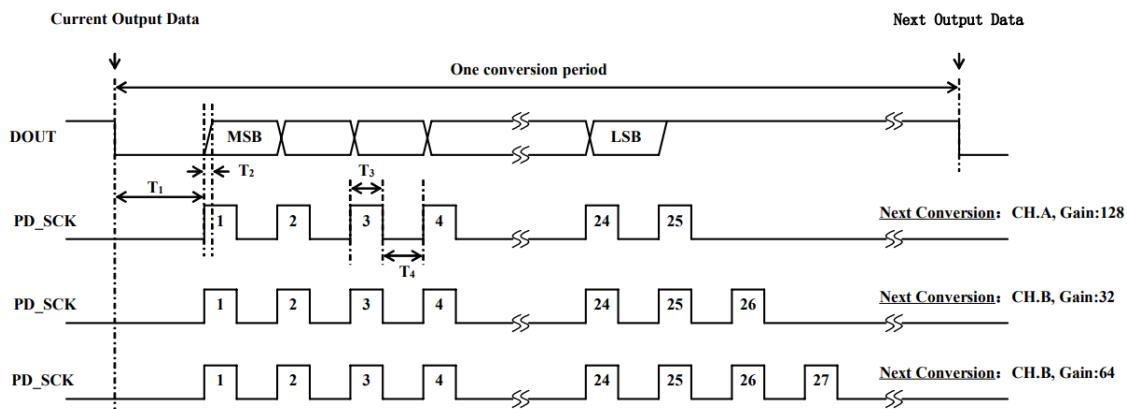


图 3.12 单片机控制时序

## 四、实验结果

### 4.1 检测电路

按照典型电路进行实验电路搭建，单片机采用 AT89S52 单片机。电阻应变式传感器连接 HX711 转换芯片，将电阻应变的模拟信号转换为数字信号。转换完成的数字信号通过 SPI 总线传输至单片机，由单片机进行数据处理和显示输出。如下图 4.1 所示。

# 山东科技大学实验报告书

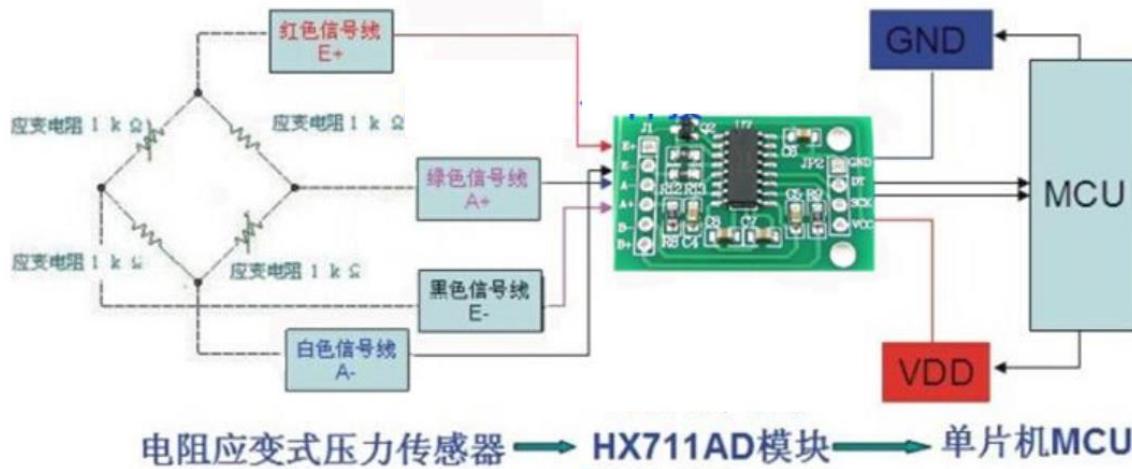


图 4.1 应用电路图

## 4.2 检测原理

电阻应变式压力传感器主要由弹性体、电阻应变片电缆线等组成，内部线路采用惠更斯电桥，当弹性体承受载荷产生变形时，电阻应变片（转换元件）受到拉伸或压缩应变片变形后，它的阻值将发生变化（增大或减小），从而使电桥失去平衡，产生相应的差动信号，供后续电路测量和处理。

当垂直正压力  $P$  作用于梁上时，梁产生形变，电阻应变片 R1、R3 受压弯拉伸，阻值增加。R2、R4 受压缩，阻值减小。电桥失去平衡，产生不平衡电压  $U$ ，电压  $U$  与作用在传感器上的正压力  $P$  成正比，从而将非电量转化为电量输出。示意图如下图 4.2 所示。

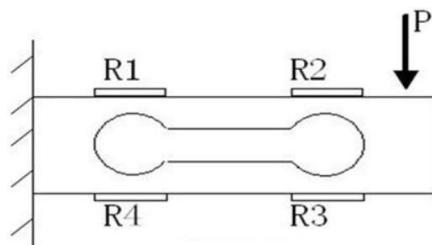


图 4.2 检测原理图

## 4.3 检测结果

将电阻应变片的上线两侧放置亚克力板，中间的电阻应变片连接 AD 转换芯片，芯片再连接单片机进行数据读取。实际效果如下图 4.3 所示。

# 山东科技大学实验报告书



图 4.3 检测过程

将 8 个硬币逐个放置在传感器的上部，下图 4.4 所示，是 8 个硬币逐个放入的动力过程，能看到前面几次放入硬币时的瞬间冲击。

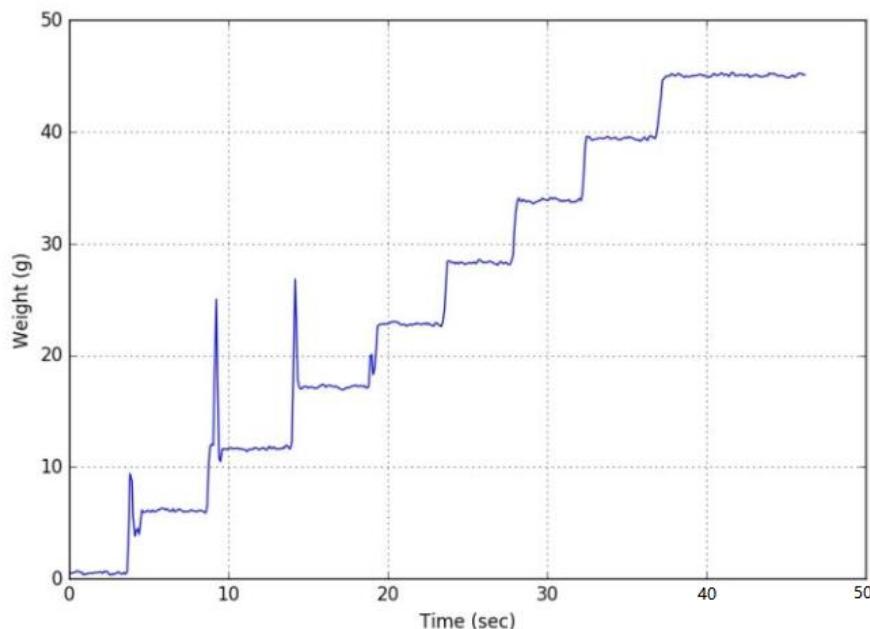


图 4.4 检测结果

## 五、收获与心得

本次实验首先讨论了压力传感器的分类，主要研究了压阻式力传感器、压电压力传感器、电容式压力传感器、电磁压力传感器和振弦式压力传感器的检测原理及其常见的应用场景。讨论了电感压力传感器、变磁阻式压力传感器、霍尔压力传感器以及电涡流压力传感器的区别。之后以“为单片机选取压力传感器进行压力测量”场景为例，对压力传感器进行了选型。综合了力学检测范围、测量精度、检测方式、价格等因素，最终选择了 HX711 作为本次实验场景下的压力检测传感器。

接下来对 HX711 压力传感器的性能特征进行详细探讨。通过查阅手册资料

# 山东科技大学实验报告书

---

的方式找到了该传感器的部分性能指标，包括传感器的外观及封装、原理图、应用电路图以及换件测试数据等等。与实际需求相比较，符合本次实验的传感器要求。

最后简要描述了 HX711 在 AT89S52 单片机中的使用方法。通过搭建实际电路、编写简单代码等方式，实现了“为单片机选取压力传感器进行压力检测”的实验目标。

通过本次实验，掌握了压力传感器的选择方法，研究了压力传感器的种类、精度等静态性能，通过查阅资料了解了压力传感器的动态性能、使用方法等，掌握了压力传感器的性能分析步骤。