

简易综合体质测量仪的设计与制作（ B 题）

摘要

本系统采用 Silicon Labs 公司的 C8051F120 作为主控制器，通过肺活量传感器、重力测量传感器、超声波测距传感器分别采集人体的肺活量、体重、身高等信息转化为电信号通过信号放大，传送给主控器处理并在液晶显示器上把相应的被测学生体质信息显示出来。此外，本系统还设计了学生卡刷卡系统，能够显示被测人员的身份信息，并能自动判别被测人员肺活量 / 体重指数是否合格。

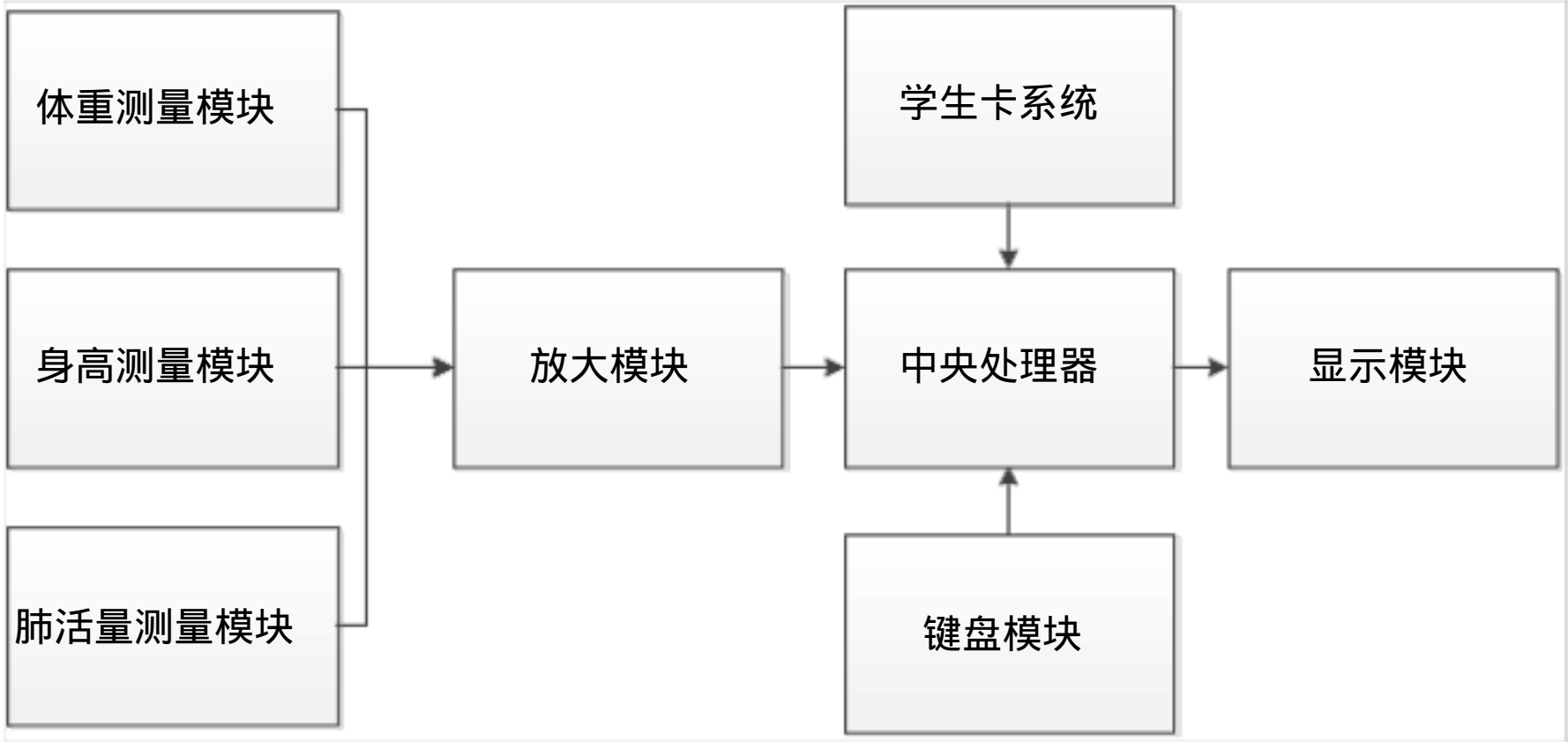
关键词：C8051F120 肺活量传感器 重力测量传感器 超声波测距传感器

目 录

| | |
|---------------------------------|-----------|
| 1. 系统方案与论证 | 3. |
| 1.1. 身高测量模块的论证与选择 | 3 |
| 1.2. 肺活量测量模块的论证与选择 | 3 |
| 1.3. 称重传感器的论证与选择 | 3 |
| 1.4. 显示模块的论证与选择 | 3 |
| 2. 系统的理论分析与计算 | 4. |
| 2.1. 超声波测距原理简介 | 4 |
| 2.2. 气体流动压力积分算法简介 | 4 |
| 2.3. 肺活量 / 体重指数的计算与判别 | 4 |
| 3. 硬件电路设计 | 4. |
| 3.1. 肺活量信号放大电路的设计 | 错误！未定义书签。 |
| 3.2. 体重测量信号电路的设计 | 5 |
| 3.3. HC-SR04 超声波测距模块电路的设计 | 5 |
| 4. 系统软件设计 | 6. |
| 4.1. 程序功能的描述 | 6. |
| 4.2. 程序流程图 | 6. |
| 5. 测试方案与测试结果 | 6. |
| 5.1. 测试条件与仪器 | 6. |
| 5.2. 测试结果（数据） | 6. |
| 5.3. 测试分析与结论 | 6. |
| 5.4. 误差分析 | 7. |
| 6. 附录 | 7. |

1. 系统方案与论证

本系统主要由传感器模块、 信号放大模块、 信号处理模块构成主要框架， 此外还有独立的键盘模块、 显示模块、 电源模块， 其原理图见图一。下面分别论证几个模块的选择。



图一：系统总框图

1.1. 身高测量模块的论证与选择

方案一：采用电位器式位移传感器，通过电位器的阻值变化转化为电信号，从而实现身高的测量。优点是电路简单，成本低，但是此方案误差大精度不高。

方案二：采用霍耳式位移传感器，霍耳式位移传感器的惯性小、频响高、工作可靠、寿命长，但是应用较为复杂，成本高。

方案三：采用超声波测距传感器，电路简单，成本低，测量精度高，符合题目要求。

综合以上两种方案，选择方案三。

1.2. 肺活量测量模块的论证与选择

方案一：使用流量传感器，流量传感器优点是使用相对简单，但是价格高，精度低。

方案二：使用气压类传感器，气压类传感器具有精度高，成本低等优势，但是应用较为复杂。

综合以上两种方案，选择方案二。

1.3. 称重传感器的论证与选择

方案一：电容式压力传感器稳定性较差，精度和灵敏度较高，寿命较短，对环境要求苛刻，不易长距离传输。

方案二：压电式压力传感器稳定性好，精度和灵敏度高，寿命长，但大量程的压力传感器尚待进一步研究。

方案三：电阻应变式压力传感器稳定性较好，精度和灵敏度较高，寿命较长，对测量环境要求不太严格。

综上三种方案，本系统选择方案三。

1.4. 显示模块的论证与选择

方案一：采用普通 LED。优点是元器件价格低廉，而且外围电路简单。但扫描要占用大量 I/O 口资源，还增大了单片机的运算开销，显示信息也不够丰富。

方案二：采用 LCD 液晶显示。优点是显示信息非常丰富，可以形象显示选项菜单和信号频谱图。占用 I/O 口资源较少，不需要循环扫描节省了大量程序开销。

综合系统及拓展要求，本作品采用方案二 LCD 液晶显示。

2. 系统的理论分析与计算

2.1. 超声波测距原理简介

超声波测距原理是通过超声波发射器向某一方向发射超声波，在发射时刻的同时开始计时，超声波在空气中传播时碰到障碍物就立即返回来，超声波接收器收到反射波就立即停止计时。超声波在空气中的传播速度为 v ，而根据计时器记录的测出发射和接收回波的时间差 t ，就可以计算出发射点距障碍物的距离 S ，即：

$$S = v \cdot t / 2$$

2.2. 气体流动压力积分算法简介

本系统的肺活量测量模块采用的是 MPS1100 气压传感器，该传感器可输出 0~5V 的电压信号对应着 0~20KPa 的气压变化。在计算肺活量时本方案采用的是气体流动压力积分算法。该算法的大体思路是，每隔 Δt 的时间记录一个气压传感器的输出电压值 V_i ，而每个 V_i 对应一个气压值 P_i ， P_i 和气体流量 S 之间具有一下关系：

$$P_i \propto S^2$$

知晓 P_i 与 S 之间的关系以后，既可以计算出流量 S ，而流量 S 乘以 Δt 既可以得改时间间隔内流过的气体体积 ΔV_i ，假设一共取了 n 个 Δt ，那么人体肺活量 L (ml) 可按以下公式计算：

$$L = \sum_{i=1}^n \Delta V_i$$

2.3. 肺活量 / 体重指数的计算与判别

肺活量 / 体重指数可以在一定程度上判别一个人的体质健康与否，本系统通过单片机处理肺活量传感器和重力称重传感器的数据并计算出肺活量 / 体重指数，自动判别不同性别测试者的体质健康与否。肺活量 / 体重指数 k 的计算公式为：

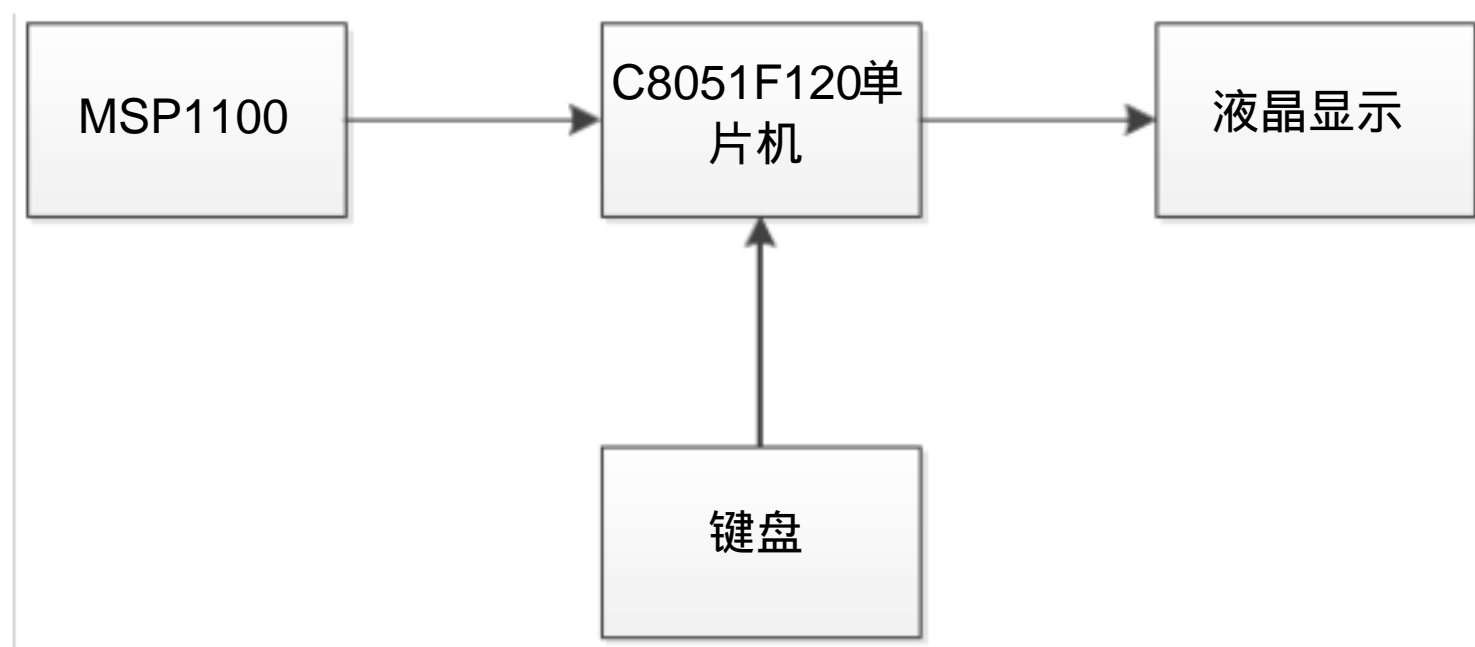
$$k=L/W$$

其中 L 为肺活量实测值，单位为 ml； W 为体重实测值，单位为 KG。体质判别指标见附录二表一

3. 硬件电路设计

3.1. MSP1100 气压传感器电路的设计

MPS1100 系列电压输出型压力变送器模块，采用压力传感器作为敏感元件并集成了数字调理芯片，对传感器的偏移、灵敏度、温漂和非线性进行数字补偿，具有集成度高、体积小、精度高、一致性好、抗干扰能力强、响应速度快、功耗低、温度范围宽等卓越特性。广泛适用于非腐蚀性、非导电性气体或液体的压力自动测量与控制。其原理框图如图二所示：

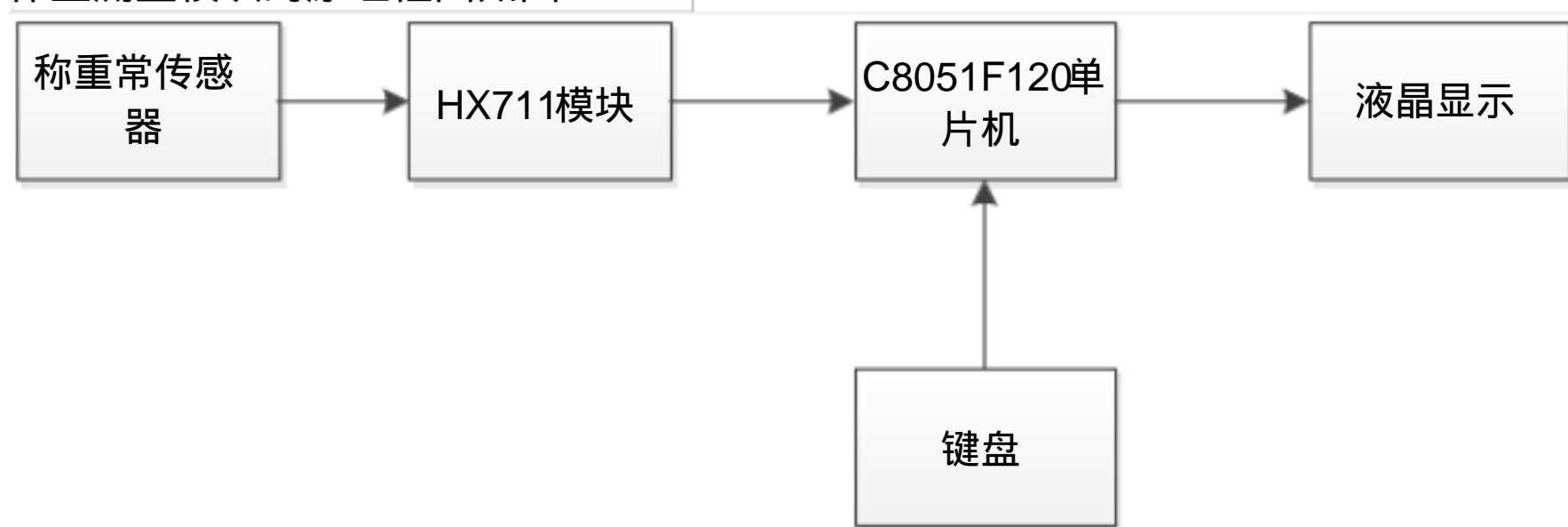


图二：肺活量测量模块原理框图

3.2. 体重测量信号电路的设计

称重传感器感应被测重力，输出微弱的毫伏级电压信号。该电压信号经过电子秤专用模拟/数字(A/D)转换器芯片 hx711 对传感器信号进行调理转换。HX711 采用了海芯科技集成电路专利技术，是一款专为高精度电子秤而设计的 24 位 A/D 转换器芯片，内置增益控制，精度高，性能稳定。HX711 芯片通过 2 线串行方式与单片机通信。单片机读取被测数据，进行计算转换，在液晶屏上显示出来。

HX711 采用了海芯科技集成电路专利技术，是一款专为高精度电子秤而设计的 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。体重测量模块的原理框图如图三：



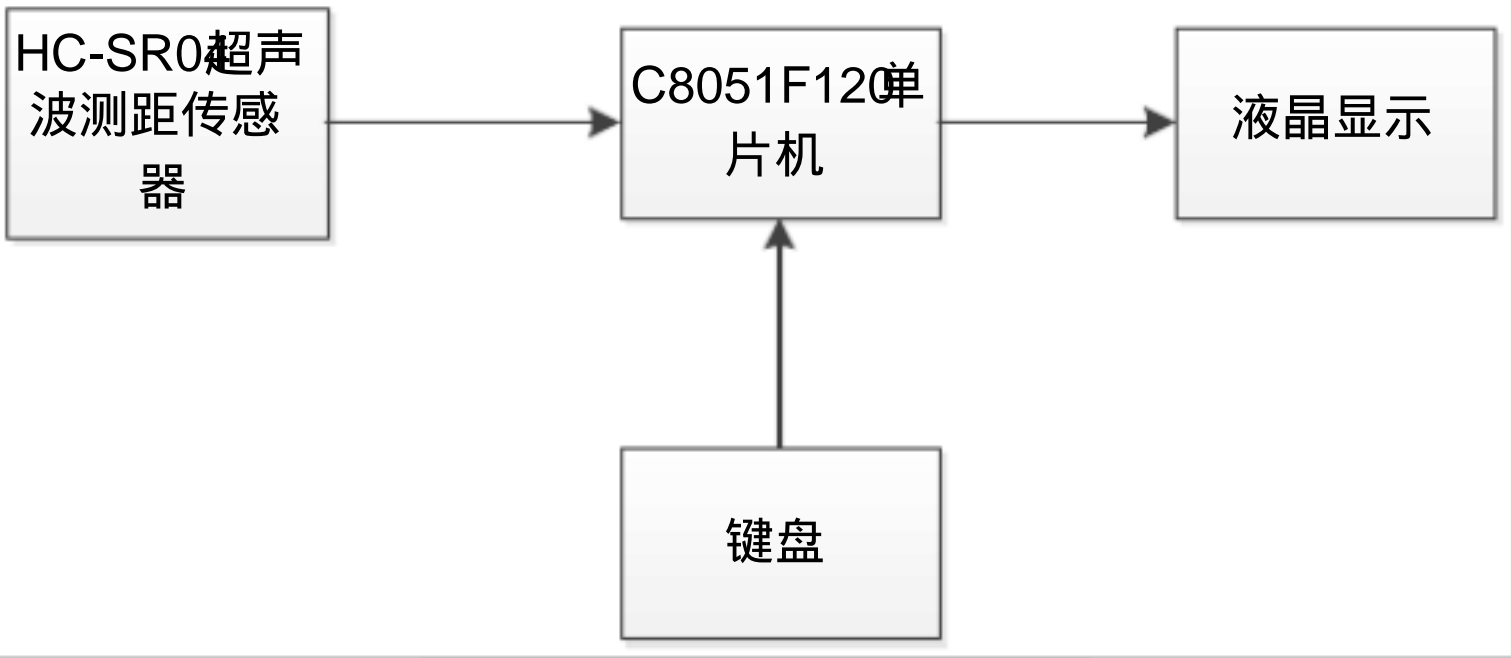
图三：体重测量模块原理框图

3.3. HC-SR04 超声波测距模块电路的设计

本系统身高测量模块是基于 HC-SR04 超声波测距模块实现的，HC-SR04 可提供 2cm-400cm 的非接触式距离感测功能，测量精度可达 3mm。HC-SR04 超声波测距模块包括超声波发射器、接收器和控制电路。其基本工作原理：

- 1、采用 IO 口 Trig 触发测距，给出大于 10us 的高电平信号；
- 2、模块自动发送 8 个 40KHz 的方波，并检测是否有信号返回；
- 3、有信号返回则通过 IO 口 Echo 输出一个高电平，高平持续时间就是超声波从发射到返回的时间；
- 4、利用单片机计算被测距离。

身高测量模块的原理框图如图四：



图四：身高测量模块原理框图

4. 系统软件设计

4.1. 程序功能的描述

根据题目要求软件部分主要实现身高测量、肺活量测量、体重测量、键盘的设置、肺活量 /体重指数 k 的计算、自主实现 k 的指标判别和液晶显示。

- 1) 键盘引导实现功能： 选择被测人性别， 选择开始身高、 体重、肺活量的测量。
- 2) 显示部分：显示菜单包括被测人身份信息，测试项目选择，测试项目结果，测试结果指标计算等。

4.2. 程序流程图

系统的整体程序流程图，可见附录中，图五：程序流程图。

5. 测试方案与测试结果

5.1. 测试条件与仪器

反复检查保证硬件电路与系统原理图相符， 检查无误上电后可正常工作， 硬件电路保证无虚焊。测量所需的仪器：标准肺活量测试仪、标准体重秤、标准身高测量仪。

5.2. 测试结果（数据）

测试项目包括身高测试、体重测试、肺活量测试，测试结果可见附录三、四五中的表三、四、五。

5.3. 测试分析与结论

根据题目要求，该设计完成了所要求的基本功能，达到了基本指标。并且在许多方面有一定发挥，现将所有题目要求与系统实际性能列表如下：

| 基本要求 | 发挥部分 | 完成情况 |
|--|------|-----------------|
| 可刷校园卡，在液晶上显示对应卡号 | | 实现 |
| 可测量人体身高，量程为1500-1900mm ,精度为 5.0 mm，误差 ±5.0mm | | 实现，精度稍低 |
| 可测量人体体重，量程为30-180kg, 精度为0.01Kg，误差 ± 0.1Kg | | 实现，精度可测到 0.01kg |
| 可测量肺活量，量程为 | | 实现，并可以通过键盘选 |

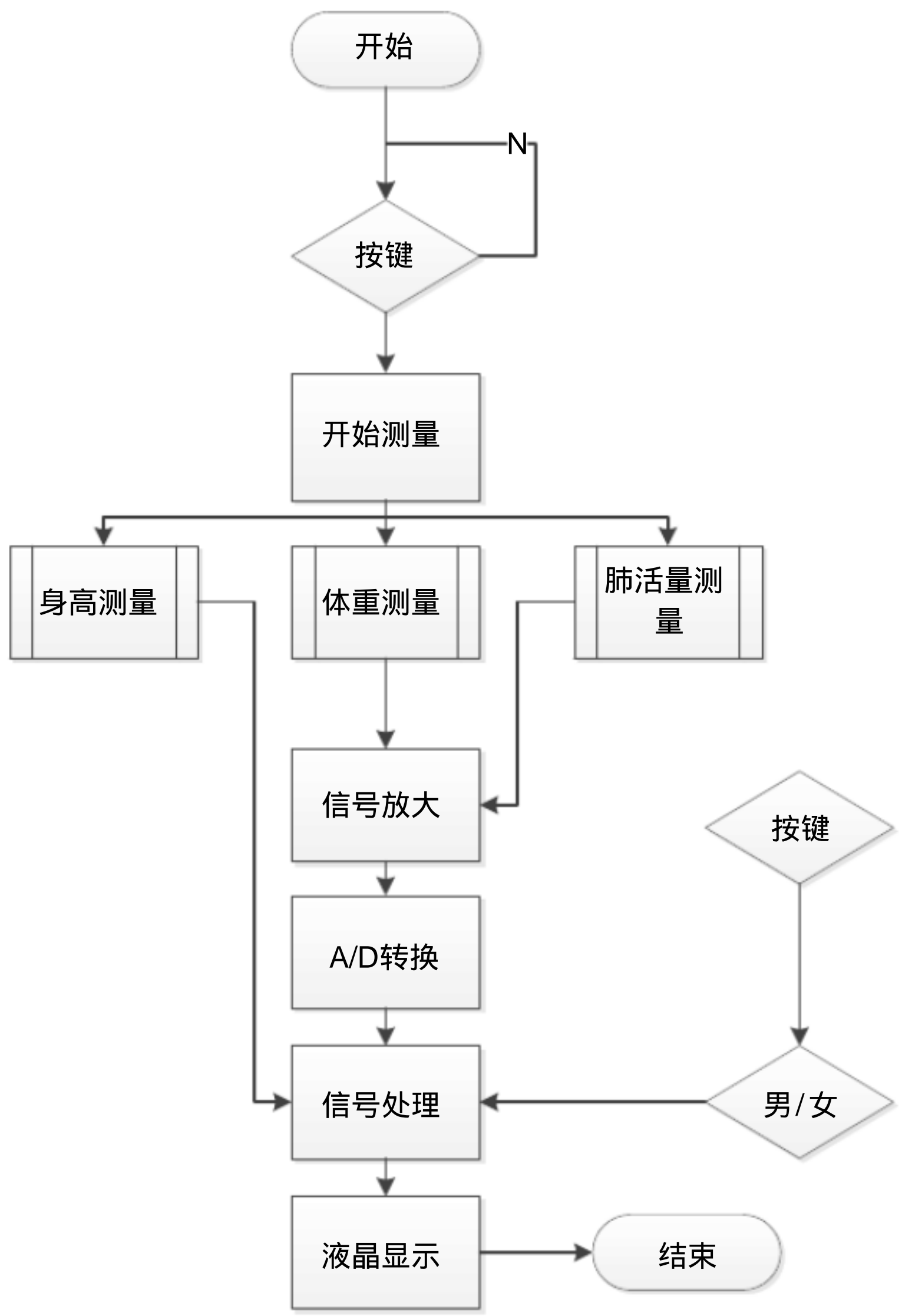
| | | |
|---|--|-------------------|
| 1000-8000ml，精度为 ± 0.1ml。误差 ± 1ml，并自动判别肺活量 /体重指数是否合格 | | 择性别，实现不同性别的体质指标判别 |
|---|--|-------------------|

5.4. 误差分析

在测试结果中肺活量的测量存在较大误差， 没有达到题目所要求的 ± 1ml 的要求，本小组经过多次测量与矫正发现造成该误差的主要原因为， 每次测肺活量时由于个体每次气体输出量不同存在着较大误差， 在标准肺活量测试以上也存在该问题。

6. 附录

附录一：程序流程图



图五：程序流程图

附录二：肺活量 /体重指数指标判别表

| 性别 | 优秀 | 良好 | 及格 | 不及格 | 极差 |
|----|-------|-------|-------|-------|-----|
| 男 | 78~84 | 68~77 | 55~66 | 47~54 | <46 |
| 女 | 64~70 | 54~63 | 43~53 | 35~42 | <41 |

表一：肺活量 /体重指数指标判别表

附录三：身高模块测试表

| | 身高/cm | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 标准值 | 50cm | 100cm | 150cm | 160cm | 170cm | 180cm | 190cm |
| 实测值 | 51cm | 102cm | 148cm | 159cm | 166cm | 179cm | 193cm |
| 误差 | 2.0% | 2.0% | 1.3% | 0.6% | 2.3% | 0.5% | 1.5% |

表二：身高模块测量表

附录四：体重模块测量表

| | 体重/kg | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 标准值 | 10kg | 20kg | 30kg | 40kg | 50kg | 60kg | 70kg |
| 实测值 | 10.5kg | 20.3kg | 29.8KG | 38.5KG | 50.6KG | 58.9kg | 71.7kg |
| 误差 | 5% | 1.5% | 0.7% | 3.7% | 1.2% | 1.8% | 2.4% |

表三：体重模块测量表

附录五：肺活量模块测量表

| | 肺活量 /ml | | | | | | |
|-----|---------|------|------|------|------|------|------|
| 标准值 | 3562 | 3908 | 4450 | 4677 | 4917 | 4530 | 2954 |
| 实测值 | 3473 | 3854 | 4479 | 4593 | 4838 | 4683 | 3061 |
| 误差 | 2.5% | 1.4% | 0.6% | 1.8% | 1.6% | 3.3% | 4.0% |

表四：肺活量模块测量表