

项目自测报告

一、概述

在项目初步制作完成后，我们进行项目的功能与性能测试，验证是否达到设计的预期的技术指标。

进行项目功能测试时使用词设备测量人体生理信号，在 PC 端绘制出心电、脑电和眼电的波形，并对脑电信号进行功率谱分析，以 α 波为参考观察脑电信号质量；在手机 APP 上显示心电、脑电和眼电信号并显示心率，与实际心率进行比对并观察心电、脑电和眼电信号的波形；

项目性能测试主要包含信号通频带、共模抑制比、设备噪声、输入阻抗、信号幅度输入范围、系统功耗等技术指标的测量结果。

二、项目预期应用及标准基本要求概述

项目功能预期标准及基本要求如下：

- (1) 能够采集到稳定的不失真的心电信号；
- (2) 可以在眨眼时采集到明显的眼电信号；
- (3) 采集到的脑电信号信噪比较高，在闭眼时能采集到明显的 α 波波形；
- (4) 手机能实时显示心电、脑电、眼电的波形，并计算实时心率；

项目性能预期标准及基本要求如下：

- (1) 通频带带宽为 DC~131Hz (-3dB 带宽)
- (2) 共模抑制比大于 100dB
- (3) 设备噪声低于 $2\mu\text{V}$
- (4) 输入阻抗大于 $500\text{M}\Omega$
- (5) 信号幅度输入范围大于 $2\mu\text{V}$
- (6) 系统功耗低于 200mW

三、项目功能测试方案

心率计算使用标准心率信号发生器输入标准心率信号，观察显示心率与输入心率是否有区别。

测试工具主要为 MATLAB 软件；

- (1) 设备连接人体进行测试，记录测量原始数据；
- (2) 用 MATLAB 软件读取并分析采集到的脑电（主要是 α 波）、眼电、心电数据；
- (3) 绘制脑电、眼电、心电的时域波形；
- (4) 对脑电信号进行功率谱分析，观察信号的频率成分（主要是信噪比与 α 波幅度）。

四、项目性能测试方案

测试使用信号发生器产生输入信号，示波器测量输出信号，万用表测输入电压电流；

4.1 通频带带宽：用函数发生器输入频率在截止频率附近的正弦波信号，观察是否有输出信号、是否失真，确定实际通频带带宽；

4.2 共模抑制比：

- (1) **差模增益(Aud)测试：**输入信号为正弦波，峰峰值 5mV

测试方法：脑电、心电、眼电参考电极接信号源地，设备右腿驱动电极与脑电、心电、眼电主电极接信号源输出。

- (2) **共模增益(Auc)测试：**输入信号为正弦波，峰峰值 4V

测试方法：设备地跳线接信号源地，设备右腿驱动电极与脑电、心电、眼电参考电极以及脑电主电极接信号源输出。

- (3) **共模抑制比（CMRR）：**

将上面测试后的差模增益和共模增益通过该公式计算出共模抑制比：

$$CMRR=20\log(Aud/Auc)$$

4.3 设备噪声：将设备模拟端的 5 通道连接到地，测试其输出端的电压值，即为设备噪声值；

4.4 输入阻抗：测量模拟电路输入端中电流大小，根据模拟端供电为 5V 来计算输入阻抗；

4.5 信号幅度输入范围：设计采用的是 TI 公司 24 位高精度 ADC，且参考电压为 4.5V，由此得其理论输入范围为：

$$\text{Input}=4.5/（223-1）=0.536\mu\text{V}$$

实际测量时输入幅值为 2μV 左右的正弦波信号，观察信号是否失真；

4.6 系统功耗：测量系统输入电压与实际工作电流，计算功率；

五、项目功能与性能测试记录

5.1 功能测试记录

使用标准心率信号发生器输入标准心率信号，手机端显示心率不失真，输入心率与显示心率记录如下：

输入心率	30	60	100	160
显示心率	30	60	100	160

用 MATLAB 软件分析了采集到的脑电、眼电、心电数据，详细代码见附录，以下是分析的结果：

（1）心电信号波形：

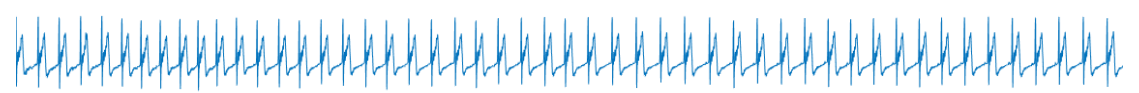


图 1. 心电时域图

（2）眼电信号波形：



图 2. 眼电时域图（连续眨眼）

(3) 脑电信号波形及功率谱：

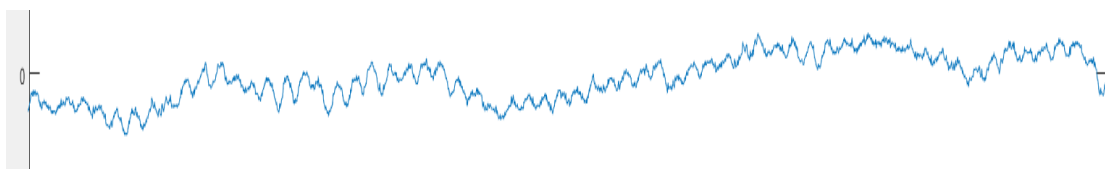


图 3. 脑电 α 波时域图

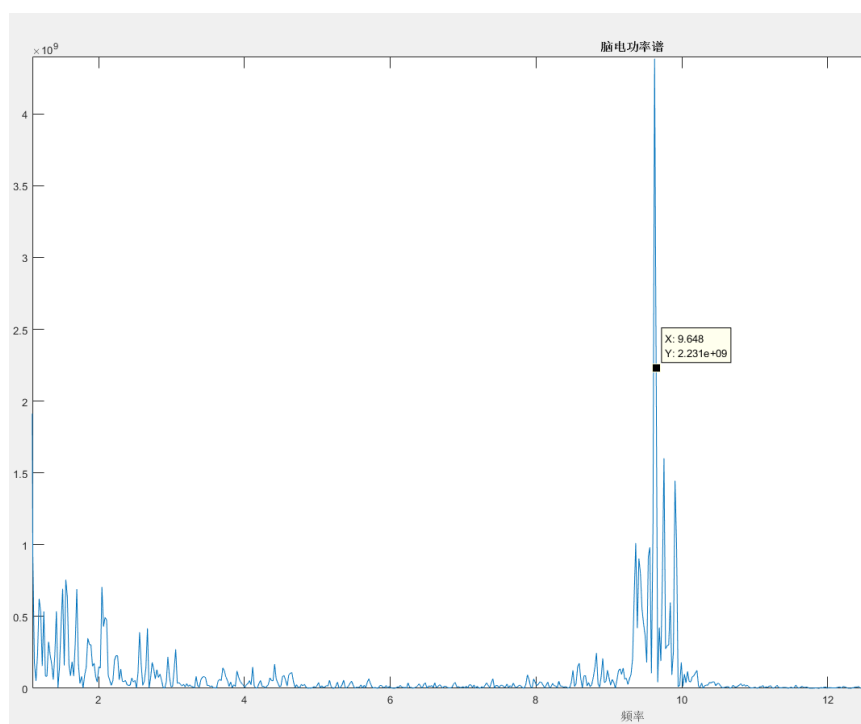


图 4. α 波功率谱（主要集中在 10Hz 附近）

5.2 性能测试记录

(1) 通频带带宽：

输入信号频率为①135Hz/100 μ V ②140Hz/100 μ V 时（均大于 131Hz），或输入信号频率为①0.1Hz/ μ V ②0.4Hz/100 μ V 时，无信号输出；

当调节信号频率在 0.5~131Hz 范围内时，有信号输出，且无明显失真；

测试结果表明该设计的信号通频带为 0.5Hz~131Hz。

(2) 共模抑制比：

共模抑制比测试结果如下表

差模增益测试记录

差模增益	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
5mV/10Hz	121.93 1mV	121.31 4mV	120.18 1mV	121.33 4mV	122.62 4mV
5mV/5Hz	124.15 6mV	122.58 3mV	122.32 6mV	120.85 4mV	125.32 5mV
5mV/1Hz	124.34 0mV	123.01 8mV	121.55 6mV	121.95 1mV	123.42 9mV

共模增益测试记录

共模增益	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
4V/10Hz	530 μ V	530 μ V	529 μ V	531 μ V	533 μ V
4V/5Hz	515 μ V	513 μ V	510 μ V	510 μ V	517 μ V
4V/1Hz	515 μ V	513 μ V	513 μ V	509 μ V	515 μ V

共模抑制比测试记录

CMRR(均值)	107.51 dB	105.25 dB	105.56 dB	105.23 dB	105.75 dB
----------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

测试结果表明共模抑制比满足设计要求；

(3) 设备噪声：

噪声测试结果如下表

噪声测试记录

噪声	CH 1	CH 2	CH3	CH4	CH5
电压均值 μ Vpp	1.56	1.39	1.51	1.71	1.64

测试结果表明设备噪声满足设计要求；

(4) 输入阻抗：

由于实验室缺乏微弱电流的测量仪器，所以无法进行共模输入阻抗和差模输入阻抗具体数值的具体测量。但根据查询 ADS1299 Datasheet 和具体的计算可知，本设计的模拟端供电为 5V，在模拟电路输入端中实际测到电流不足 0.01 μ A，所以实际的共模输入阻抗和差模输入阻抗均是大于 500M Ω 的。

(5) 信号幅度输入范围：

实际测量时输入大于 2μV/10Hz 的正弦波，信号无明显失真；当信号小于 2μV 时，信号有失真现象；

由此表明该设计的信号幅度输入范围>2μV，满足测试脑电要求。

（6） 系统功耗：

功耗测试结果如下表

功耗测试记录

电源电压	电流	功耗
3.81V	40.79mA	155.41mW

测试结果表明系统功耗满足设计要求；

六、小结

测试结果表明：

系统测量得到的心电、眼电和脑电波形无明显失真，脑电信号中主峰频率在 10Hz 附近（α 波段范围内）且噪声较低，手机端能够实时显示三种波形，心率计算正确；

实际测量的信号通频带、共模抑制比、设备噪声、输入阻抗、信号幅度输入范围、系统功耗等技术指标均满足设计预期要求；

项目功能与性能均满足设计预期要求。

附录：

```
function power_sp_HE()
    path = 'EEG_channel(3).txt';
    EEG_data = load(path);
    figure(1)
        plot(EEG_data);
    EEG_data=EEG_data(6000:10000);
        max(EEG_data)-min(EEG_data)
    sample_rate = 500;
    EEG_data = filter(eeg, EEG_data);
    EEG_data = EEG_data(10*500 : end);
    [p, Fre]=pwelch(EEG_data,length(EEG_data),sample_rate,length(EEG_data),sample_rate);
    figure(2)
    plot(Fre, p)
        title('脑电功率谱')
    xlabel('频率')
    ylabel('功率')
    axis([0, 30, 0, 300]);
        path = 'EEG_channel(5).txt';
    EEG_data = load(path);
    sample_rate = 500;
    seg_time = 30;
    signal_len = length(EEG_data);
    total_seg = floor(signal_len / sample_rate / seg_time);
        for epoch = 1 :total_seg
    EEG_epoch = EEG_data((epoch-1)*seg_time*sample_rate+1 : epoch*seg_time*sample_rate);
    [p, Fre]=pwelch(EEG_epoch,length(EEG_epoch),sample_rate,length(EEG_epoch),sample_rate
    );
    figure(2)
    plot(Fre, p)
        title('脑电 30s 信号功率谱')
    xlabel('频率')
    ylabel('功率')
    axis([0, 30, 0, 300]);
    pause(0.5)
        end
end
```