

预习报告		实验记录与分析		总成绩	
30		50		80	

年级、专业:	物理学	组号:	实验班 1
姓名:	黄罗琳、丁侯凯	学号:	2344001、22344010
日期:	2024/05/23	教师签名:	

TEC 控温实验

【实验报告注意事项】

1. 实验报告由两部分组成:

- 1) 预习报告: 课前认真研读实验讲义, 弄清实验原理; 实验所需的仪器设备、用具及其使用、完成课前预习思考题; 了解实验需要测量的物理量, 并根据要求提前准备实验记录表格 (可以参考实验报告模板, 可以打印)。 (30 分)
 - 2) 实验记录与分析: 认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名 (用铅笔记录的被认为无效)。保持原始记录, 包括写错删除部分, 如因误记需要修改记录, 必须按规范修改。 (不得手记的值输入到电脑打印); 离开前请实验教师检查记录并签名。 (50 分)
2. 本实验报告可提前打印出来, 当场记录分析完成交给带实验的老师, 课后无需再提交。若当场完成不了, 则请课后完成, 再扫描并通过 seelight 提交。

注意: 本文档已留出填写空间, 若填写空间不够的话请提前规划留白, 做到报告的美观

3. 注意事项:

- 1) 本实验电路比较复杂, 需要耐心连接, 认真检查。
- 2) 程序编写和调试过程中, 遇到问题及时查看 LabVIEW 帮助, 留意各个器件时刻处于可控状态。
- 3) 直流稳压电源的输出, 要根据实验过程及时地手动打开或关闭, 不要在程序没有正常运行的情况下, 让直流稳压电源有持续的输出。
- 4) 注意根据信号电流大小选取合适直接的导线, 杜邦线一般只用于小电流和信号传输, 电流大时则需要选用直径大的导线。

目录

1 TEC 控温实验 预习报告	3
1.1 实验目的	3
1.2 仪器用具	3
1.3 原理概述	3
1.4 实验前思考题	7
2 TEC 控温实验 实验记录	10
2.1 实验电路连接	10
2.2 Labview 编程截图	10
2.3 控温结果截图	11
2.4 实验数据	12
3 TEC 控温实验 分析与讨论	13
3.1 实验数据绘图	13
3.1.1 数据时域图	13
3.1.2 数据频域图	15
3.1.3 数据频域图对数坐标	17
3.2 时域数据分析	19
3.3 频域数据分析	20
3.4 控温效果总结	20
3.5 实验后思考题	20
4 TEC 控温实验 结语	22
4.1 实验心得和体会	22
4.2 附件	22

TEC 控温实验 预习报告

1.1 实验目的

1. 了解 TEC 半导体控温的原理和 PID 参数的调节。
2. 基于 LabVIEW 和 myDAQ 设计和搭建温度采集和控制系统。

1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，量程，测量精度等）
1	计算机	1	Windows 系统，安装 LabVIEW 程序
2	myDAQ	1	
3	直流稳压电源	1	DP832
4	控温实验平台	1	12V 供电，最大电流 2A
5	IBT_2 电机驱动器	1	24V 供电，测温范围 0-100°C，输出电压 0-10V
6	温度变送器	1	
7	电路元器件	1	面包板，连接线等

表 1: 仪器用具清单

1.3 原理概述

1. PID 反馈控制原理

PID 控制器是最常见的反馈控制器之一，广泛应用于工业控制系统。PID 是比例 (Proportional)、积分 (Integral) 和微分 (Derivative) 三种控制方式的缩写。PID 控制器的目标是使输出尽可能接近设定值，通过调节控制输入来减少误差。以下是 PID 控制器的基本原理：

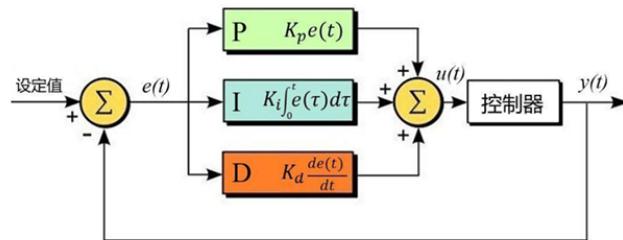


图 1: PID 反馈控制原理

比例控制 (P 控制)

比例控制是控制器的基本部分。比例控制器通过将当前误差（设定值与实际值的差）乘以比例系数 K_p 来计算控制输出。依赖于当前误差。比例控制与误差信号成比例，较大的比例增益可以对误差信号有

更大的响应。比例增益太高会使电路在目标值附近振荡；比例增益太低，电路将不能有效地对系统变化进行响应。

$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

其中：

- $u(t)$ 是控制输出
- $e(t) = r(t) - y(t)$ 是误差， $r(t)$ 是设定值， $y(t)$ 是实际输出
- K_p 是比例增益

积分控制（I 控制）

积分控制通过对误差随时间的累积进行积分，消除稳态误差。积分控制器的输出与误差的积分成正比。积分增益过高，会引起电路的过度超调，从而导致振荡和不稳定；积分增益太低，电路在系统发生改变时响应将十分缓慢。

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

其中：

- K_i 是积分增益

微分控制（D 控制）

微分控制通过对误差的变化率进行微分，预测误差的变化趋势，改善系统的动态响应。微分控制增益过高，会使电路响应速度非常缓慢，并使电路对噪声和高频振荡非常敏感；微分控制增益太低，电路则很有可能发生设定值的超调。但是在一些情况下，如果需要避免任何程度的设定值超调，就应该采用更高的微分增益。

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中：

- K_d 是微分增益

PID 控制器的综合输出

PID 控制器将上述三部分控制作用相加，得到最终的控制输出：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

综合来看，PID 控制器可以同时调整比例、积分和微分增益，以实现对系统的精确控制。比例控制主要影响系统的响应速度，积分控制消除稳态误差，而微分控制则改善系统的动态性能。

2. 半导体控温原理 (Peltier 效应、Seebeck 效应、以及两者之间的关系)

半导体控温原理主要依赖于 Peltier 效应和 Seebeck 效应，这两种效应都是热电效应的一部分，广泛应用于温度控制和温差发电。以下是对这两种效应及其关系的解释。

1. Peltier 效应

Peltier 效应指的是当电流通过两种不同的导体或半导体连接形成的接点时，接点处会吸收或释放热量。这种效应可以用来实现温度控制，例如在 Peltier 制冷片中应用。

当直流电流通过连接在一起的两种不同半导体 (n 型和 p 型) 时，在一个接点会吸收热量 (制冷效果)，而在另一个接点会释放热量 (加热效果)。这种效应的热量变化与电流成正比。

$$Q = \Pi \cdot I$$

其中：

- Q 是吸收或释放的热量
- Π 是 Peltier 系数
- I 是电流

2. Seebeck 效应

Seebeck 效应指的是当两种不同的导体或半导体连接形成回路并存在温差时，会在回路中产生电动势。这种效应可以用来实现温差发电。

当两个不同半导体 (n 型和 p 型) 连接形成闭合回路并存在温差 ΔT 时，在回路中会产生电动势 (电压)。

$$V = S \cdot \Delta T$$

其中：

- V 是产生的电动势
- S 是 Seebeck 系数
- ΔT 是温差

3. Peltier 效应与 Seebeck 效应的关系

Peltier 效应和 Seebeck 效应是热电效应的两个不同表现形式，但它们之间有着密切的关系，都是热电材料的基本性质。

- 在 Peltier 效应中，电流通过不同材料的接点引起热量的吸收或释放。
- 在 Seebeck 效应中，温差引起不同材料的接点产生电动势。

两者的关系可以通过热电材料的性能参数联系起来，Peltier 系数 Π 和 Seebeck 系数 S 之间有如下关系：

$$\Pi = S \cdot T$$

其中：

- T 是绝对温度

这种关系说明了在一定温度下，Peltier 效应和 Seebeck 效应是等效的，反映了热电材料在能量转换中的对偶性。

3. 傅里叶变换基本原理，功率谱密度或幅度谱密度基本原理

傅里叶级数：傅里叶级数表示周期函数可以用正弦和余弦函数的无限级数来表示，其中 $f(x)$ 表示周期为 2π 的函数。

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nx)$$

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} d\omega$$

傅里叶变换：傅里叶变换将一个函数从时域转换到频域， $F(k)$ 表示在频域 k 处的频谱分量。

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-ikx} dx$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

傅里叶逆变换：傅里叶逆变换用于将频域信号恢复到时域。

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{i\omega t} d\omega$$

能量守恒：能量守恒表明信号在时域和频域之间的能量是相等的。

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} |F(f)|^2 df$$

功率 P ：功率 P 表示信号的平均功率， $S(f)$ 表示功率谱密度（PSD），描述信号在不同频率上的功率分布。

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} E[|f(t)|^2] dt = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df$$

功率谱密度 PSD

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{E[|F_T(f)|^2]}{T}$$

幅度谱密度 ASD: 幅度谱密度 (ASD) 是 PSD 的平方根, 用于表示信号在不同频率上的振幅。

$$ASD = \sqrt{PSD}$$

1.4 实验前思考题

思考题 1.1: 热敏电阻测温点位置不同, 是否会影响 PID 参数的设定, 为什么?

测温点位置的不同会导致对控温装置的响应延迟不同, 距离温度控制装置 (如 TEC, 热电冷却器) 越远的测温点, 其响应延迟通常会更大。这是因为温度变化需要一定的时间传播到测温点处, 然后才能被传感器检测到。这种响应延迟会影响到控温系统的性能, 特别是 PID 控制器的参数设定。

当测温点位置离控温装置较远时, 其对温度变化的响应速度较慢, 导致控温装置难以及时作出反应, 从而影响到温度的稳定性和控制精度。在 PID 控制器的参数设定中, 需要考虑到这种响应延迟, 以调整控制器的响应速度和稳定性。通常情况下, 当测温点位置距离控温装置较远时, 可能需要增加 PID 控制器的比例增益 (P)、积分时间 (I) 和微分时间 (D), 以提高系统的响应速度和稳定性, 从而更好地实现温度控制的要求。

思考题 1.2: 被控物体材料不同, 是否会影响 PID 参数的设定, 为什么?

被控物体的材料不同会导致其热学性质不同, 例如热容量、导热系数等, 进而影响其升温速度、冷却速度以及对温度变化的响应速度。这些因素会直接影响到 PID 控制器参数的设定。

热容量: 不同材料的热容量可能不同, 热容量越大的物体在升温和降温时需要吸收或释放更多的热量, 因此会导致更长的响应时间。在 PID 控制器的参数设定中, 需要考虑到物体的热容量, 适当调整积分时间 (I), 以确保系统的稳定性和控制精度。

导热系数: 不同材料的导热系数也不同, 高导热系数的物体会更快地传导温度变化, 因此具有更快的响应速度。在 PID 控制器的参数设定中, 需要考虑到物体的导热性, 适当调整比例增益 (P) 和微分时间 (D), 以提高系统的响应速度。

综合来看, 被控物体材料不同会导致其对控温的响应速度不同, 进而影响到 PID 控制器参数的设定。为了实现良好的温度控制效果, 需要根据被控物体的热学性质调整 PID 参数, 以适应不同的工作条件和控制要求。

思考题 1.3: 除了脉冲宽度调制控温, 可以使用连续信号控温吗? 如何实现?

连续信号控温方法及其实现方式

模拟电压控制

通过调节模拟电压信号来控制加热器或制冷器的输出功率。这种方法通常使用运算放大器和线性调节器进行控制。

关键组件:

- **电压源:** 提供可调节的电压信号。
- **线性调节器:** 调整输出功率以匹配输入的模拟电压信号。
- **温度传感器:** 测量当前温度并将信号反馈给控制器。
- **PID 控制器:** 根据温度反馈信号调整输出电压, 实现温度控制。

实现步骤:

1. 将温度传感器连接到 PID 控制器, 以测量当前温度。
2. PID 控制器根据设定的目标温度计算误差, 并输出相应的控制电压信号。
3. 线性调节器根据 PID 控制器输出的控制电压信号调整加热器或制冷器的功率。
4. 温度传感器实时测量温度, 并将反馈信号传递给 PID 控制器, 形成闭环控制。

模拟电流控制

通过调节模拟电流信号来控制加热器或制冷器的输出功率。这种方法通常使用电流源和电流控制器进行控制。

关键组件:

- **电流源:** 提供可调节的电流信号。
- **电流控制器:** 调整输出功率以匹配输入的模拟电流信号。
- **温度传感器:** 测量当前温度并将信号反馈给控制器。
- **PID 控制器:** 根据温度反馈信号调整输出电流, 实现温度控制。

实现步骤:

1. 将温度传感器连接到 PID 控制器, 以测量当前温度。
2. PID 控制器根据设定的目标温度计算误差, 并输出相应的控制电流信号。
3. 电流控制器根据 PID 控制器输出的控制电流信号调整加热器或制冷器的功率。
4. 温度传感器实时测量温度, 并将反馈信号传递给 PID 控制器, 形成闭环控制。

线性放大器控制

使用线性放大器(如晶体管或运算放大器)来调节加热器或制冷器的功率输出。这种方法提供平滑的控制信号, 减少功率损耗。

关键组件：

- **线性放大器：** 放大控制信号并驱动加热器或制冷器。
- **温度传感器：** 测量当前温度并将信号反馈给控制器。
- **PID 控制器：** 根据温度反馈信号调整输出信号，实现温度控制。

实现步骤：

1. 将温度传感器连接到 PID 控制器，以测量当前温度。
2. PID 控制器根据设定的目标温度计算误差，并输出相应的控制信号。
3. 线性放大器根据 PID 控制器输出的控制信号调整加热器或制冷器的功率。
4. 温度传感器实时测量温度，并将反馈信号传递给 PID 控制器，形成闭环控制。

连续信号控温方法通过调节电压或电流来精确控制温度。这些方法包括模拟电压控制、模拟电流控制和线性放大器控制，均可实现高效、稳定的温度控制。关键在于合理设置 PID 参数和反馈机制，以确保系统稳定运行。

专业:	物理学	年级:	2022 级
姓名:	黄罗琳、丁侯凯	学号:	22344001、22344010
室温:	26°C	实验地点:	A515
学生签名:	黄罗琳 丁侯凯	评分:	
实验时间:	2024/5/23	教师签名:	

TEC 控温实验 实验记录

2.1 实验电路连接

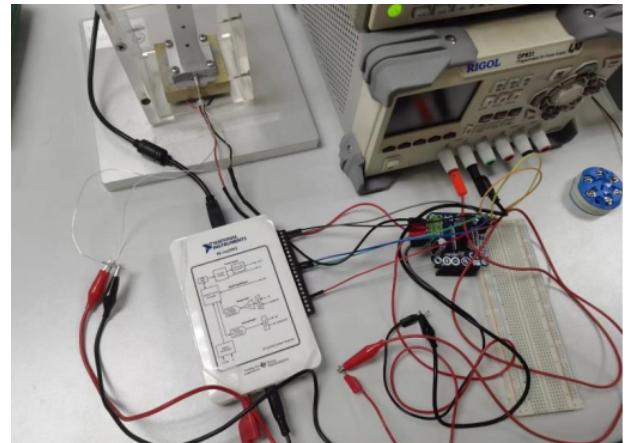
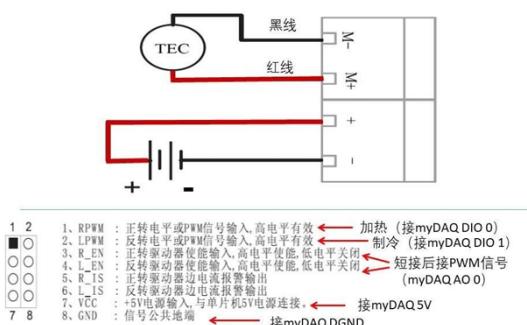


图 2: 接线示意图

图 3: 电路连接

2.2 Labview 编程截图

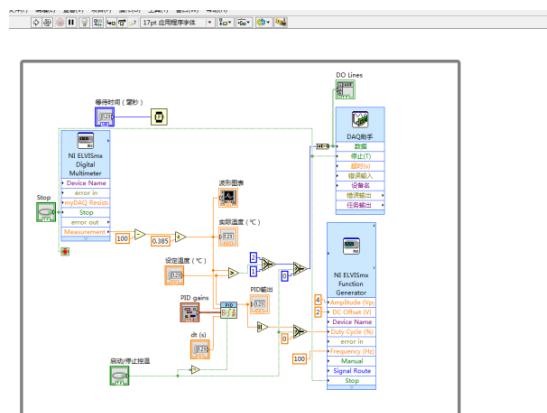


图 4: 编程截图

2.3 控温结果截图

1. 25 摄氏度 PI



图 5: 25°C 控温

2. 25 摄氏度 PID

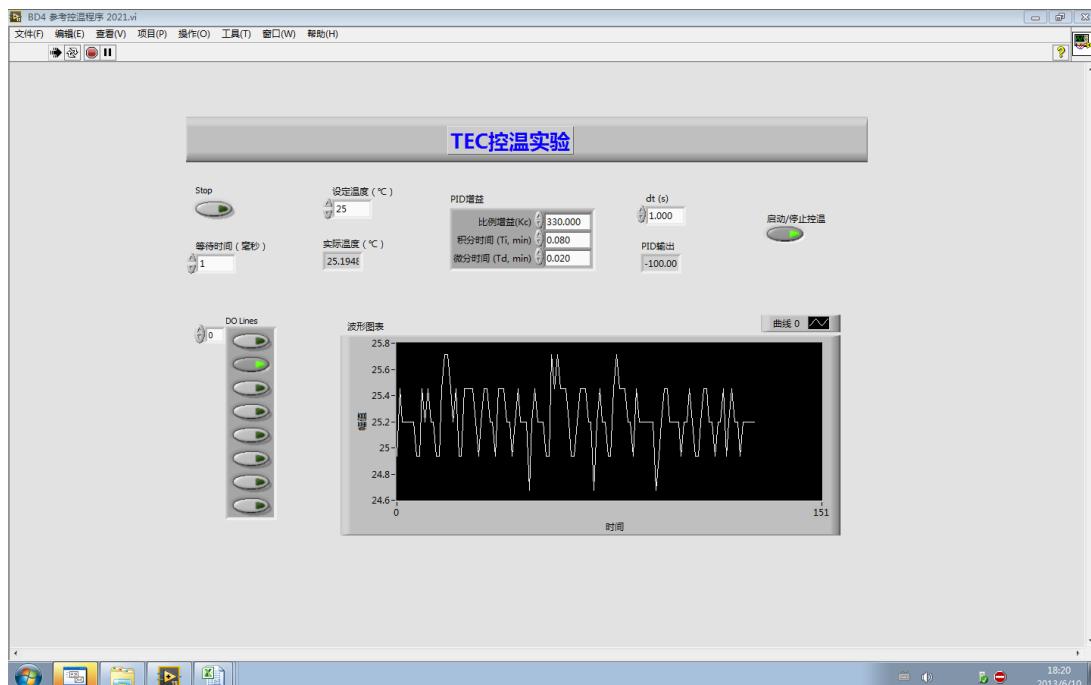


图 6: 25°C 控温 PID

2.4 实验数据

实验组	设定温度	实际温度（平均）	控温时长	KP	KI	Kd
P1	25	25.21	75	620	0	0
P2	33	33.05	175	600	0	0
PI1	25	25.25	112	380	0.1	0
PI2	33	33.29	63	360	0.6	0
PID1	25	25.24	70	330	0.08	0.02
PID2	33	33.21	225	300	0.067	0.02

专业:	物理学	年级:	2022 级
姓名:	黄罗琳、丁侯凯	学号:	22344001、22344010
日期:	2024/5/23	评分:	

TEC 控温实验 分析与讨论

3.1 实验数据绘图

3.1.1 数据时域图

以下所有关于温度的时域图纵坐标单位为摄氏度 (°C), 横坐标为秒 (S)

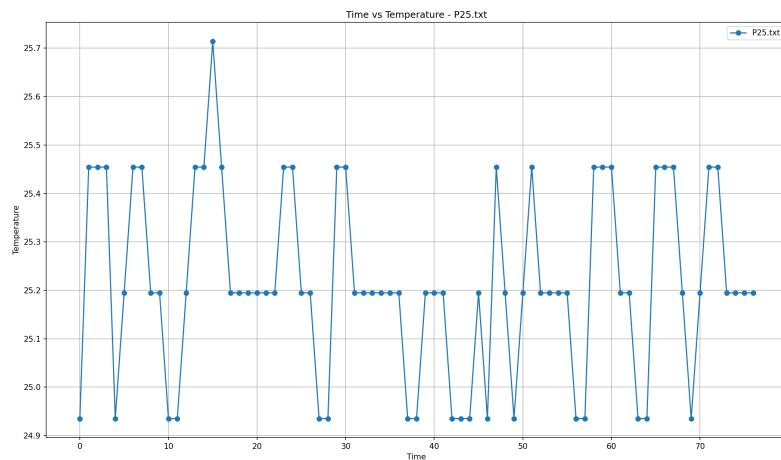


图 7: 25°C CP 控温

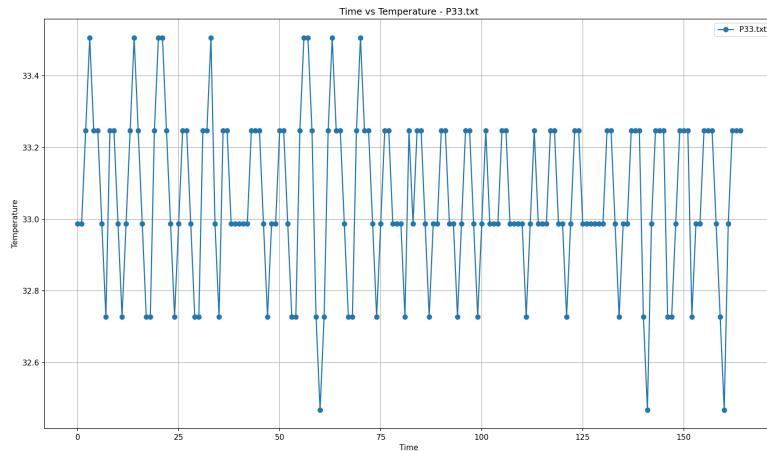


图 8: 33°C CP 控温

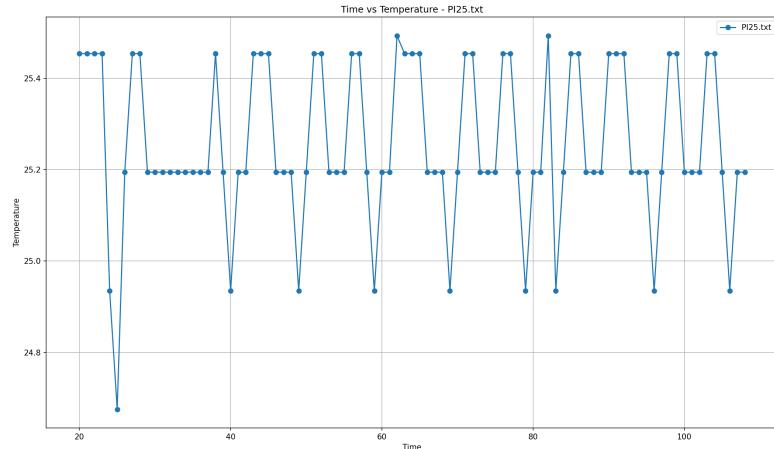


图 9: 25°CPI 控温

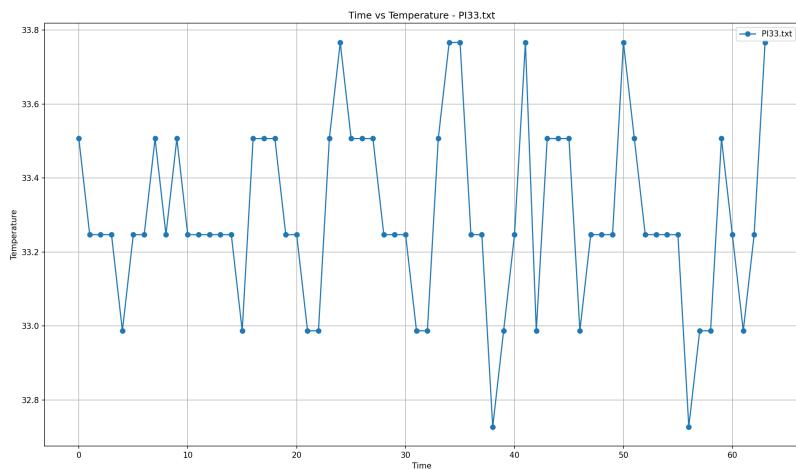


图 10: 33°CPI 控温

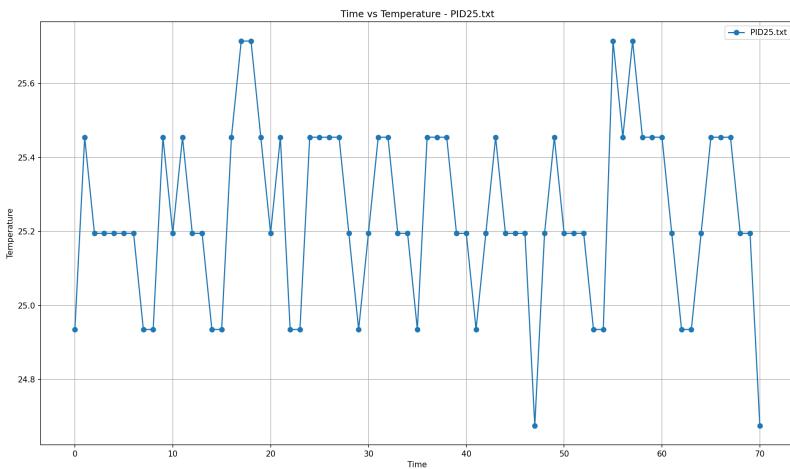


图 11: 25°C PID 控温

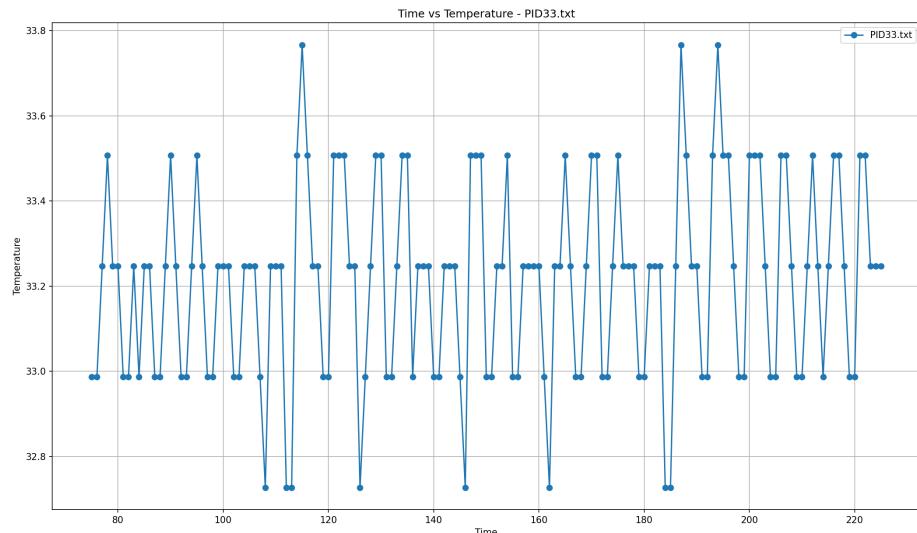


图 12: 33°C PID 控温

3.1.2 数据频域图

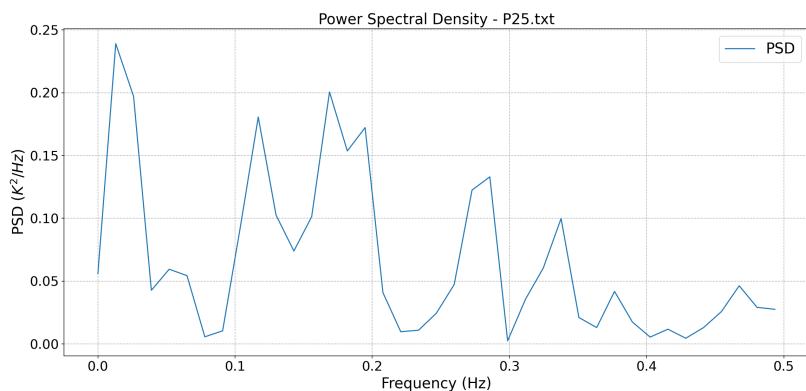


图 13: 25°C CP 控温 PSD

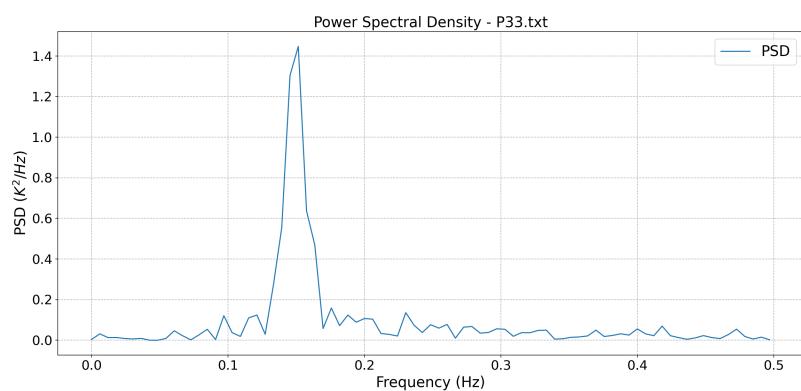


图 14: 33°C CP 控温 PSD

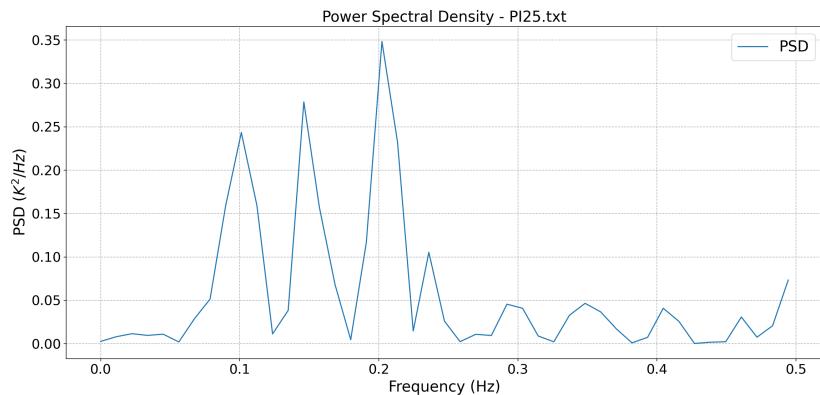


图 15: 25°CPI 控温 PSD

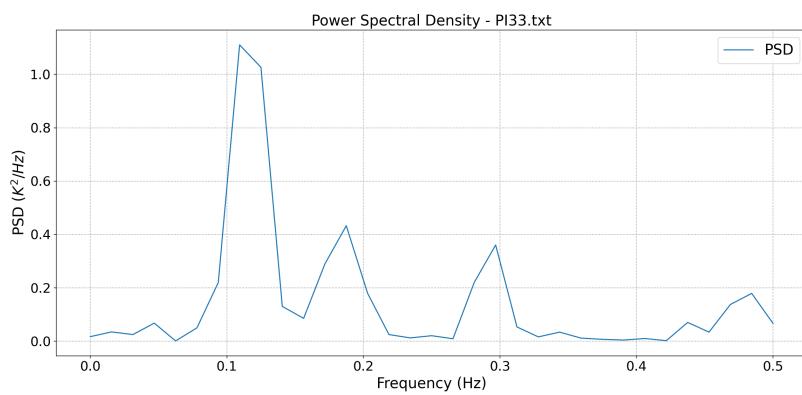


图 16: 33°CPI 控温 PSD

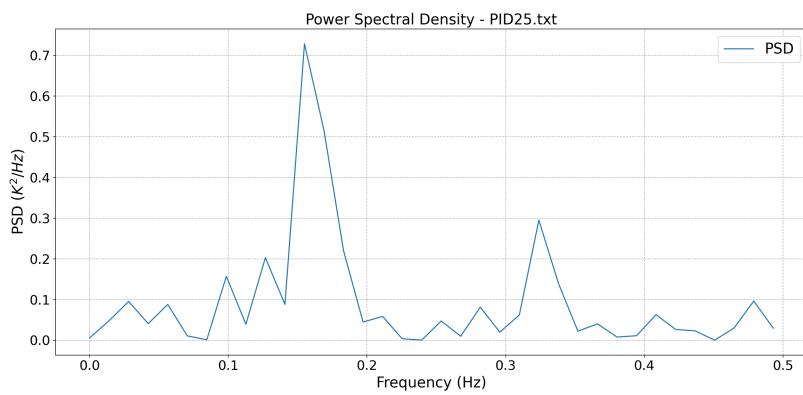


图 17: 25°CPID 控温 PSD

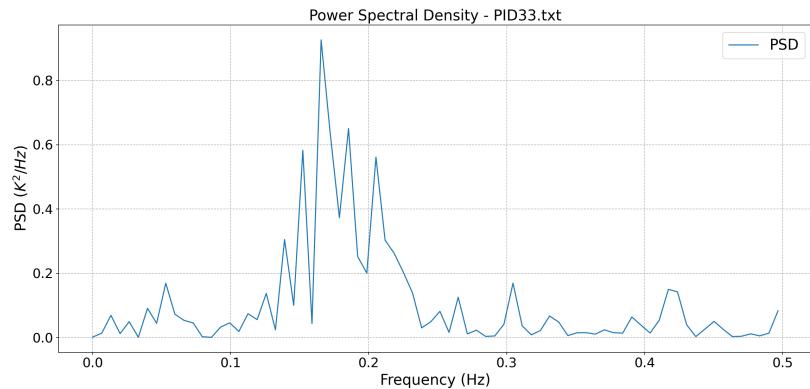


图 18: 33°C PID 控温 PSD

3.1.3 数据频域图对数坐标

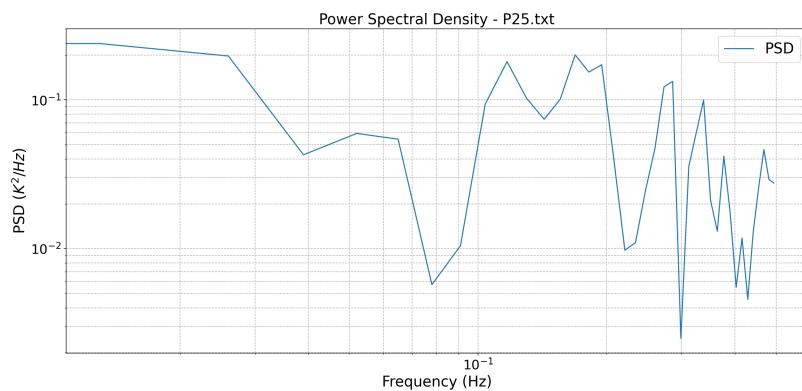


图 19: 25°C CP 控温 PSD

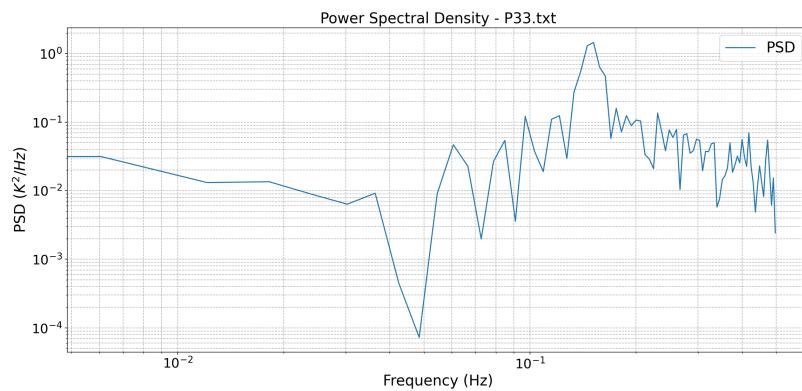


图 20: 33°C CP 控温 PSD

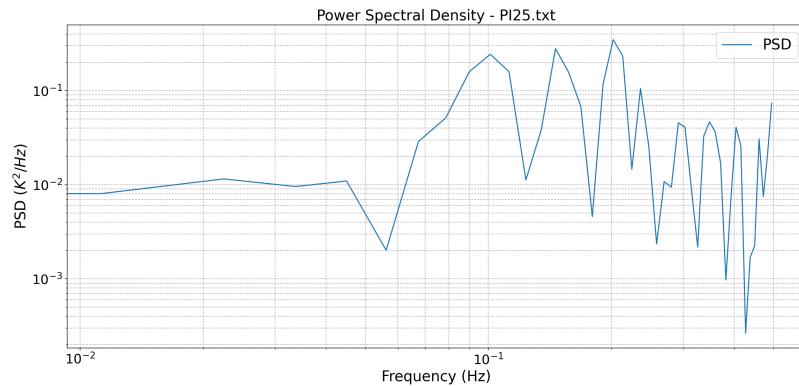


图 21: 25°CPI 控温 PSD

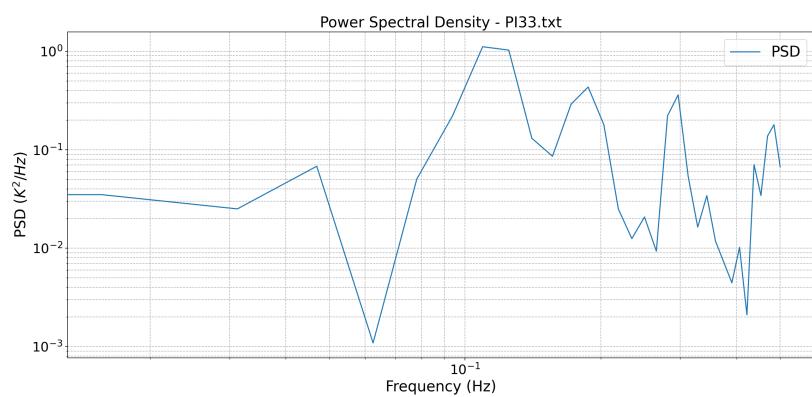


图 22: 33°CPI 控温 PSD

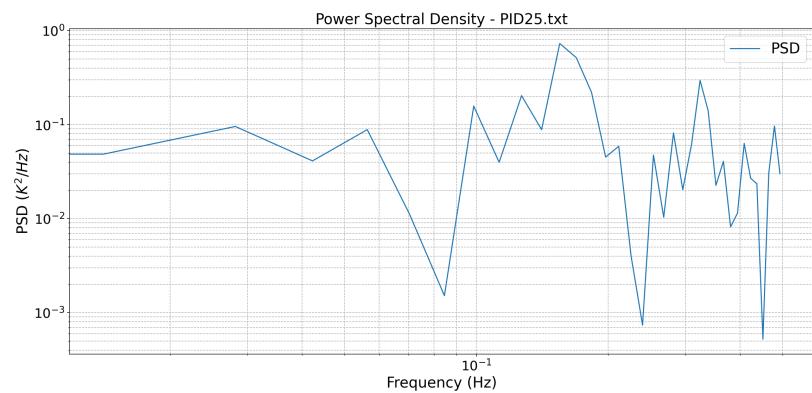


图 23: 25°CPID 控温 PSD

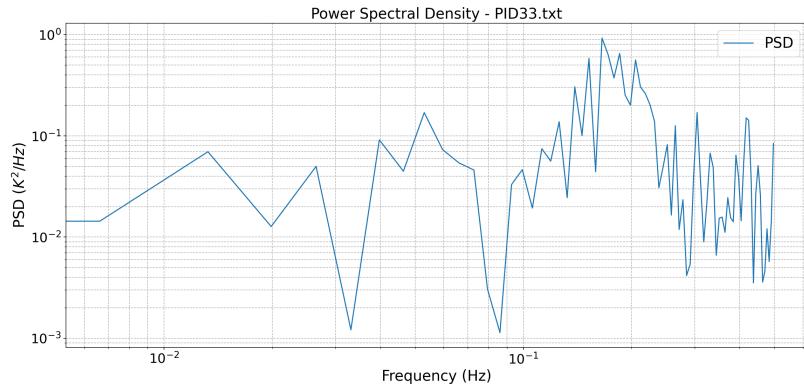


图 24: 33°C PID 控温 PSD

3.2 时域数据分析

对实验相关数据进行误差分析，可以初步得出实验数据控温效果较好。

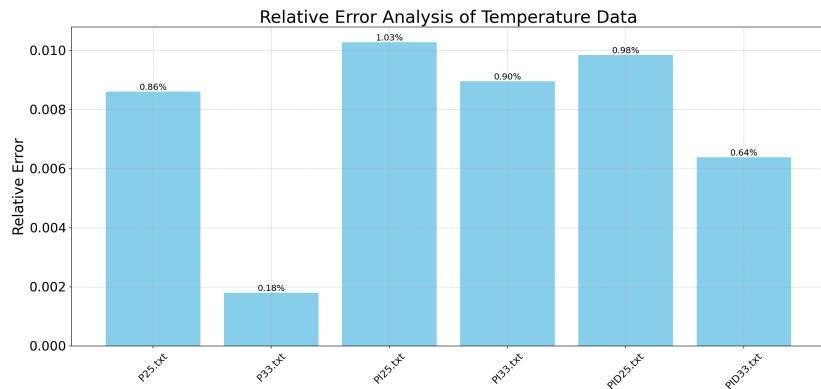


图 25: 控温均值相对误差

于是随后进行的标准差的分析发现，PID 控温并没有预期中控温效果更好，这可能是由于环境噪声的影响和参数调整。

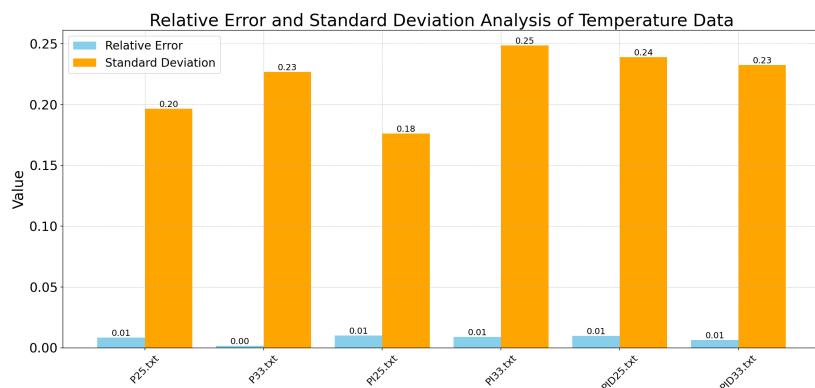


图 26: 相对误差与标准差

综合 25°C 和 33°C 两组实验数据来看，可以得出：

第一组 25°C:

- (1) P 控制: 相对误差为 0.86%, 标准差为 0.20°C, 温度波动最小, 控温效果最佳。
- (2) PI 控制: 相对误差为 1.03%, 标准差为 0.18°C, 温度波动稍大于 P 控制, 但控温效果仍然较好。
- (3) PID 控制: 相对误差为 0.98%, 标准差为 0.24°C, 温度波动较 PI 控制更大, 控温效果略差于 PI 控制。

第二组 33°C:

- (1) P 控制: 相对误差为 0.18%, 标准差为 0.23°C, 温度波动最小, 控温效果最佳。
- (2) PI 控制: 相对误差为 0.89%, 标准差为 0.25°C, 温度波动略大于 P 控制, 但控温效果仍然较好。
- (3) PID 控制: 相对误差为 0.64%, 标准差为 0.23°C, 温度波动略大于 P 和 PI 控制, 控温效果稍差。

3.3 频域数据分析

第一组 (设定控温温度 25°C):

图 19 中, 能量分布较高, 系统存在较大的波动, 系统慢速响应。

图 21 中, 低频段能量分布较低, 显示系统对低频扰动的良好抑制效果, 控温效果较好。

图 23 中, 全频段的能量分布均较低, 控温效果极佳。

第二组 (设定控温温度 33°C):

图 20 中, 低频段的能量分布较高, 显示系统存在较大的温度波动, 响应较慢。

图 22 中, 低频段和中频段的能量分布较低, 整体波动较小, 控温效果较好。

图 24 中, 低频段和中频段的能量分布均较低, 控温效果最佳。

综上所述, 添加积分和微分控制参数 (PI 和 PID 控制) 能够有效降低温度波动, 提升稳定性。

3.4 控温效果总结

对于时域数据的分析体现出 PID 控温并没有想象中那么优秀, 反而其标准差较大与其余两种控温方式没有多少区别。而在频域图上进行分析时就可以明显看出 PID 与其余两种方式的优越之处, 而之所以能得出符合客观实际的 PID 控温优秀的结论, 是基于时域数据相差不大, 频域数据更加优秀的基础上的。

实验中有很多噪声的引入导致了实验数据的不稳定, 这一点对于实验数据来说是影响很大的, 所以需要更多的在稳定的环境中进行实验, 方可能得出与理论相符的实验结果。

3.5 实验后思考题

思考题 3.1: 影响控温精度和稳定度的因素都有哪些, 如何进行改进?

影响控温精度和稳定性的因素包括以下几个方面: 首先, TEC (热电制冷器) 的性能至关重要, 选择合适功率、制冷能力和温度范围的 TEC 能直接提升控温系统的稳定性和精度。其次, 环境温度和散热效率也会影响 TEC 的工作状态, 进而影响控温效果, 因此良好的散热设计和环境温度控制是必要的。此外, 传感器的准确性和灵敏度对控温系统的精度有直接影响, 选用高精度、高灵敏度的传感器并进行校准能够提高系统性能。最后, 控制算法的设计对控温系统的影响很大, 采用合适的 PID 控制算法并根据实际情况进行参数调整, 可以提升控温的稳定性和精度。

为改进控温系统的性能，可以采取以下措施：优化散热设计，提高散热效率，从而减少环境温度对 TEC 系统的影响；选择高精度、响应速度快的传感器，并进行精确校准，确保其准确性和稳定性；针对不同的实验需求，改进控制算法设计，采用合适的 PID 参数调整策略，以提高控温系统的整体性能。

思考题 3.2：本实验中直流电源的电流输出建议设置为 2A，为了减小温度的波动，电流设置应该增大还是减小，为什么？

增大直流电源的电流输出有助于减小温度的波动。这是因为 TEC（热电制冷器）的制冷或制热能力与电流成正比关系。增大电流可以提高 TEC 的制冷或制热功率，从而使其能够更快速地响应温度变化，进而实现更精确的温度控制。

当温度波动较大时，增大电流输出可以增加 TEC 的制冷量或制热量，使系统更能够快速地回到设定温度。这样可以有效地抑制温度的波动，提高控温系统的稳定性。

然而，需要注意的是，过大的电流可能会引起系统的过冲和振荡，从而增加温度波动。因此，在增大电流输出时，需要在系统稳定性和响应速度之间找到平衡。通过适当调节电流大小，可以在提高系统响应速度的同时，避免引入过大的振荡，从而实现更稳定的温度控制。

思考题 3.3：实验是否达到了控温的目的，还有哪些可以改进的地方？

根据实验数据分析可知，实验达到了控温的目的。

在实验中实现更好的控温效果，可以考虑以下改进方面：

参数优化：对控制系统中的参数进行优化调整，如 PID 控制器中的比例、积分、微分参数，以提高系统的响应速度和稳定性。

传感器校准：确保使用的温度传感器准确性高且稳定，可以进行定期的校准和调试，以减小温度测量误差。

散热设计：进一步优化散热系统，提高散热效率，以降低环境温度对控温系统的影响，从而减小温度波动。

思考题 3.4：温度控制程序是否工作正常，是否还有优化的地方？

有两种不同的温度控制程序，其中一种无法进行工作，从界面显示发现明显缺少关键记录仪器，而第二种软件使用较为流畅，但是存在记录数据计算较慢，可以进行优化算法。

此外实验中的环境噪声很大，可以在程序中加入滤波器来屏蔽掉一部分噪声。

TEC 控温实验 结语

4.1 实验心得和体会

1. 实验接线较为困难，并且进行运行程序的时候也出现了问题，不得不更改使用的程序，之后的问题是，实验温度的测量会受到环境的影响，并且影响非常大，比如说桌子的震动甚至都会影响输出的数据。
2. 实验中由于许多困难的存在，导致实验的时间很长很长才能获得足够进行分析的实验数据。
3. 本实验报告采用 LATEX 编辑，实验分工为黄罗琳同学负责实验操作、记录数据、编辑报告、数据绘图，数据分析，丁侯凯同学负责实验操作、数据绘图、数据分析。

4.2 附件

