

大学物理-综合实验 B

医学物理实验

实验报告

College Physics Comprehensive Experiment B

Medical Physics Experiment: Experimental Report

李佩哲

指导教师：顾悦

中国科学技术大学 生命科学与医学部 生命科学学院

230026

安徽 合肥

2022 年 10 月 18 日

# 大学物理-综合实验 B

## 实验基本信息

实验人	李佩哲 PB21051049
实验名称	医学物理实验：温度传感器特性及人体温度测量实验
研究背景及意义	
<p>在医学上，体温的测量及温度的误差对疾病的判断相当重要，所以温度传感器应用广泛。因此，对温度传感器的工作原理、使用方法进行实验探究很有必要。</p>	
研究内容	
<p>1. 了解实验中使用的温度传感器的工作原理，测量所使用的温度传感器的电压（或电阻）与温度的关系，求出温度传感器的灵敏度与相关系数；</p> <p>2. 用选用的温度传感器、放大电路和数字电压表组装数字式电子温度表，并用标准数字式温度表，对组装的数字式温度表进行校正，通过实验测量其线性度；</p> <p>3. 使用组装的数字式温度表进行人体各部位温度分布情况的测量，了解人体各部分的温差。</p>	
研究计划	
<p>测量温度传感器的输出特性；</p> <p>制作数字式电子温度表并进行定标，计算其线性度。</p>	
预期研究成果	
<p>深入了解温度传感器工作原理，对其电路结构有一定的了解；</p> <p>学习掌握各类温度传感器与温度关系式及其推论，学会进行温度计线性度分析。</p>	

## 摘要

医学上，体温的测量及温度的误差对疾病的判断相当重要，因此温度传感器应用广泛。本实验通过测量温度传感器的输出特性、制作数字式温度表并进行定标，加深了对温度传感器工作原理与特性的理解与掌握。

**关键词:** 温度、传感器、LM35 温度传感器

## Abstract

In medicine, the measurement of body temperature and the error of temperature are very important for the judgment of diseases, so temperature sensors are widely used. By measuring the output characteristics of the temperature sensor, making a digital thermometer and calibrating, this experiment has deepened the understanding and grasp of the working principle and characteristics of the temperature sensor.

**Keywords:** temperature, sensor, LM35 temperature sensor

# 目录

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
第一节 实验背景 . . . . .	1
第二节 实验目的和意义 . . . . .	1
第三节 实验方法 . . . . .	1
<b>第二章 实验原理</b>	<b>2</b>
第一节 热敏电阻温度传感器 . . . . .	2
一、 恒压源电流法测量热电阻 . . . . .	2
二、 负温度系数热敏电阻 (NTC 1K) 温度传感器 . . . . .	2
第二节 PN 结温度传感器 . . . . .	2
第三节 LM35 集成电压型温度传感器 . . . . .	2
<b>第三章 实验仪器</b>	<b>2</b>
<b>第四章 实验过程</b>	<b>3</b>
第一节 测量温度传感器的输出特性 <sup>[3]</sup> . . . . .	3
第二节 制作数字式电子温度表 <sup>[3]</sup> . . . . .	3
<b>第五章 实验数据与处理</b>	<b>4</b>
第一节 实验数据 . . . . .	4
第二节 实验数据处理 . . . . .	4
一、 温度传感器的输出特性 . . . . .	4
二、 制作数字式电子温度表 . . . . .	5
三、 人体温度测量 . . . . .	5
<b>第六章 结论</b>	<b>5</b>
<b>第七章 结语</b>	<b>5</b>
<b>第八章 致谢</b>	<b>6</b>

# 第一章 绪论

## 第一节 实验背景

“温度”是一种重要的热学物理量，它不仅和我们的生活环境密切相关，在科研及生产过程中，温度的变化对实验及生产的结果至关重要，所以温度传感器应用广泛。温度传感器可以提高温度控制精度，提高了控制效率，从而有效地提高仪器仪表测量分析性能<sup>[1]</sup>；也可以基于温度传感器实现的电动机过载保护<sup>[2]</sup>；等等。在医学上，体温的测量及温度的误差对疾病的判断相当重要。

## 第二节 实验目的和意义

1. 了解实验中使用的温度传感器的工作原理，测量所使用的温度传感器的电压 (或电阻) 与温度的关系，求出温度传感器的灵敏度与相关系数；
2. 用选用的温度传感器、放大电路和数字电压表组装数字式电子温度表，并用标准数字式温度表，对组装的数字式温度表进行校正，通过实验测量其线性度；
3. 使用组装的数字式温度表进行人体各部位 (眉心，手心等) 温度分布情况的测量，了解人体各部分的温差。

## 第三节 实验方法

借助医学物理实验箱，探究给定的 LM35 温度传感器的输出特性，并利用其构建电路，组装数字式电子温度表，通过与标准温度计进行比较来定标，然后测量并计算组装温度计的线性度即可。

## 第二章 实验原理

### 第一节 热敏电阻温度传感器

#### 一、恒压源电流法测量热电阻

串联已知电阻  $R_1$  与热电阻  $R_t$ ，分别测量二者的电压  $U_{R_1}, U_{R_t}$ ，则热电阻阻值可以表示为  $R_t = \frac{U_{R_t}}{U_{R_1}} R_1$  [3]。

#### 二、负温度系数热敏电阻 (NTC 1K) 温度传感器

在一定的温度范围内 (小于 150 °C) NTC 热敏电阻的电阻  $R_t$  与温度  $T$  之间的关系为  $R_t = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$ ，从而  $\ln R_t = B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + \ln R_0$ 。作  $\ln R_t - \frac{1}{T}$  直线图，用直线拟合，由斜率即可求出常数  $B$  [3]。

### 第二节 PN 结温度传感器

通常 PN 结组成二极管的电流  $I$  和电压  $U$  满足  $I = I_s \left[ e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right]$ ，常温时  $I = I_s e^{\frac{qU}{kT}}$ 。在正向电流保持恒定且电流较小条件下，近似有  $U = BT + U_0$  [3]。

### 第三节 LM35 集成电压型温度传感器

由于 LM35 温度传感器输出的是与温度对应的电压 (10 mV/°C)，且线性极好，故只要配上电压源，数字式电压表就可以构成一个精密数字测温系统。输出电压的温度系数  $K = 10.0 \text{ mV/°C}$ ，因此可以通过测量电压求得被测温度  $T = \frac{U_0}{K}$  [3]。

## 第三章 实验仪器

温度传感器特性及人体温度测量实验仪由 7 部分组成 [3, 4]：

1. 高准确度控温恒温加热系统；
2. 直流稳压电源；

3. 数字电压表；
4. Pt100 温度传感器；
5. NTC1K 热敏电阻温度传感器、PN 结温度传感器、电压型集成温度传感器 LM35 及可调放大器；
6. 标准数字体温表；
7. 实验接插线。

## 第四章 实验过程

### 第一节 测量温度传感器的输出特性 [3]

按面板电路图指示插好实验电路，将控温传感器 Pt100 铂电阻插入干井式恒温加热炉的中心井，另一只待测试的热敏电阻插入干井式恒温加热炉另一井，然后开启控温仪开关。从 30.0 °C 起，每隔 10.0 °C 设置控温系统温度，待控温稳定后，记录温度传感器的输出，到 80.0 °C 止。对测量结果进行处理，拟合求出温度传感器的灵敏度与相关系数。

### 第二节 制作数字式电子温度表 [3]

1. 将控温传感器 Pt100 铂电阻插入恒温加热炉中心井，控温仪作 37.0 °C 的自适应整定。
2. 用数字体温计作为标准温度表，对控温仪 Pt100 铂电阻进行 37.0 °C 温度校正。  
控温仪设定 37.0 °C，对比控温仪实际温度示数与数字体温表示数。如不同，进行传感器修正。
3. 测量组装数字式电子温度计的线性度。  
从 35.0 °C~42.0 °C，每隔 1 °C 设置控温仪温度，到 42.0 °C 止，分别记录组装数字式电子温度计和标准温度表的温度示数，求出不同设定温度时的差值  $\Delta t$ ，计算线性度。
4. 使用组装的数字式电子温度计进行人体温度测量。  
用组装数字式电子温度计，进行人体各部位的温度测量，了解人体各部位温差的原因。

## 第五章 实验数据与处理

### 第一节 实验数据

实验数据整理如下。原始记录见附件。

$T/^{\circ}\text{C}$	$U/\text{V}$	控温仪 $^{\circ}\text{C}$	组装温度计 $^{\circ}\text{C}$	标准温度计 $^{\circ}\text{C}$	$\Delta T/^{\circ}\text{C}$
30.2	0.291	35.0	35.0	34.8	+0.2
40.1	0.397	36.0	36.0	36.0	0.0
50.1	0.504	37.0	37.0	37.0	0.0
60.0	0.600	38.0	38.1	38.1	0.0
70.1	0.710	39.0	39.2	39.1	+0.1
80.0	0.811	40.0	40.2	40.3	-0.1
		41.0	41.3	41.3	0.0
		42.0	42.3	42.3	0.0

表 1: 温度传感器特性

手心/ $^{\circ}\text{C}$	手背/ $^{\circ}\text{C}$
36.1	34.4

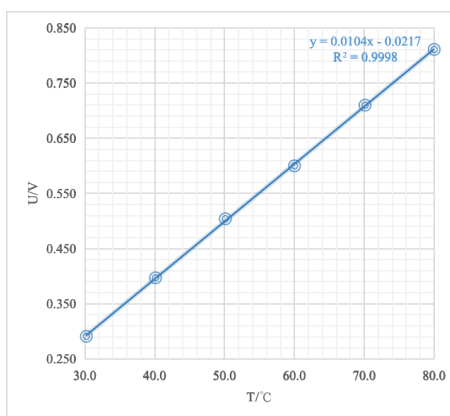
表 3: 测量人体各部位体温

表 2: 制作数字式电子温度表

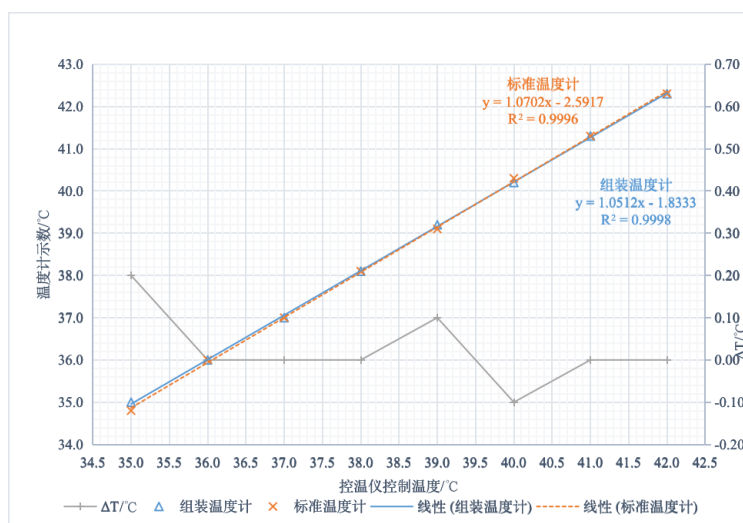
### 第二节 实验数据处理

#### 一、 温度传感器的输出特性

由表1中数据绘制图象如图1(a)所示，求得拟合直线为  $y = 0.0104x - 0.0217$ ，相关系数  $r^2 = 0.9998$ ，因此温度传感器的灵敏度为 0.0104，相关系数为 0.9998。



(a) 温度传感器的输出特性



(b) 制作数字式电子温度表

图 1: 实验结果



## 二、 制作数字式电子温度表

由表2中数据绘制图象如图1(b)所示,求得最大偏差  $Y_{\max} \approx \Delta T_{\max} = 0.2^{\circ}\text{C}$ , 满量程输出  $Y = T_{\max} - T_{\min} = 42.3^{\circ}\text{C} - 35.0^{\circ}\text{C} = 7.3^{\circ}\text{C}$ , 因此电子温度计的线性度  $\delta = \frac{Y_{\max}}{Y} \times 100\% = \frac{0.2}{7.3} \times 100\% \approx 2.74\%$ .

## 三、 人体温度测量

由表3中数据可知, 人手掌心温度显著高于手背温度.

## 第六章 结论

根据以上结果与数据处理, 可以得到如下结论:

1. LM35 温度传感器的输出一般为线性, 其灵敏度为 0.0104, 相关系数为 0.9998;
2. 制作的数字式电子温度计具有良好的测温性能, 与标准温度计相差无几, 且其线性度可达约 2.74%;
3. 人体手掌心温度显著高于手背温度, 可能的原因有: 与手掌开放式的结构相比, 手心较为封闭的结构使得热量更难散失; 手掌心处的毛细血管比手背处的更为发达, 带来了更多的热量; 等.

## 第七章 结语

本实验系统探究了 LM35 温度传感器的输出特性, 对相关理论进行了学习与探讨, 并利用其特性制作了数字式电子温度计, 进行定标并实际应用; 但还存在一些不足之处, 比如研究的对象为 LM35 温度传感器, 而对热敏电阻温度传感器如 NTC 1K 温度传感器、PN 结温度传感器没能进行深入而系统的研究; 再比如实验步骤还能进一步优化, 但碍于实验者的能力水平, 未能取得较为深刻的进展, 等等. 希望后续的研究者能够借鉴本课题的成果与不足, 拓展研究面, 细化理论模型, 改进实验步骤, 进而取得更加深入的突破.

## 第八章 致谢

本实验为笔者大雾实验的收官之作，在此笔者郑重感谢本门课程对笔者自身实验水平的提高做出的卓越贡献。与此同时，笔者还要向本门课程的实验老师们（尤其是本实验的指导老师——顾悦老师）致以崇高的敬意与深深的感谢。正是实验老师们的兢兢业业、耐心细致的指导，让笔者能够顺利完成各项实验，取得个人能力的提升。笔者在此向在课程过程中向笔者提供帮助的老师们的同学们致以由衷的感谢！

## 参考文献

- [1] 李香宇, 任建存, 王世功, 徐向美. 基于 LM35 的高精度温控系统的设计 [J]. 电子设计工程, 2017, 25(15): 94-97. DOI: 10.14022/j.cnki.dzsjgc.2017.15.024.
- [2] 徐进. 基于 LM35D 的电动机过载保护的设计和实现 [J]. 机床电器, 2000(03): 44-45.
- [3] 中国科大物理实验预约选课系统. 医学物理实验 [EB/OL]. (2022-09-01)[2022-10-18]. <http://pems.ustc.edu.cn/uploads/project/20221003/0a7d4af229a8081e98bb9454e26cb67c.pdf>
- [4] 朱小松. 集成温度传感器 LM35 制作的数字温度计 [J]. 电子技术应用, 1991(10): 25.

## 附录 实验数据记录

见附件.