



北京航空航天大学

模拟电子技术基础（实训项目）开题报告

题目：可设定的恒温温度控制器设计

学院名称 高等理工学院

专业名称 自动化

学生姓名 李谨杰 杨曼鑫 雷彤彤 赵谦

学生学号 16231235 16231261 16231229 16231059

指导教师 唐瑶、肖瑾

目录

一、选题依据.....	3
1.1 课题来源.....	3
1.2 课题背景及意义.....	3
1.3 国内外研究现状分析.....	4
1.3.1 测温传感器的研究现状.....	4
1.3.2 保护电路的研究现状.....	4
1.3.3 恒温控制系统研究现状.....	5
1.3.4 加热方式的研究现状.....	6
1.3.5 交互与显示装置研究现状.....	6
二、方案研究.....	7
2.1 研究目标.....	7
2.2 研究内容.....	7
2.2.1 核心控制系统.....	7
2.2.2 测温系统.....	7
2.2.3 通讯、显示模块和手机端控制.....	8
2.2.4 加热与冷却系统.....	8
2.2.5 漏电检测与失控保护.....	8
2.3 拟解决的关键问题及难点.....	8
2.3.1 电路的设计以及元件参数的选择.....	8
2.3.2 恒温控制问题.....	8
2.3.3 实现手机控制恒温箱.....	8
2.4 拟采用的研究方法、技术路线.....	9
2.4.1 电路设计方面.....	9
2.4.2 温度控制原理方面.....	9
2.4.3 单片机方面.....	9
2.4.4 显示与交互方面.....	9
三、预期达到的目标及研究成果.....	11
四、课题进度安排.....	11
五、主要参考文献.....	13

一、选题依据

1.1 课题来源

本项目的名称为可设定的恒温温度控制器，课题来源于模拟电子电路这门课。项目的目标是设计一款产品，使用 220 伏特交流电，且温度控制范围在 50-100° C 之间，设定恒温参数后，温度的误差不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。控制器可以使用手机 APP 来设定并显示温度。通过小组合作分工，自行设计电路以及选择硬件的参数，完成产品的设计与制造。

1.2 课题背景及意义

温度是生活及生产中最基本的物理量，它表征的是物体的冷热程度。自然界中任何物理、化学过程都紧密地与温度相联系^[1]。恒温温度控制器在日常生活中应用广泛。在普通百姓的生活中，冰箱、空调、恒温箱、智能洗衣机等，都需要一套恒温控制系统来控制温度。以此满足人们的需求。在工业方面，温度是工业生产中主要的被控参数之一，与之相关的各种温度控制系统广泛应用于冶金、化工、机械、食品等领域。温度控制是工业生产过程中经常遇到的过程控制，有些工艺过程对其温度的控制效果直接影响着产品的质量，因而设计一种较为理想的温度控制系统是非常有价值的。

所以，合适的温度控制系统在社会中有着重要的意义。以此项目目标为参考，本产品可能有如下用途：在婴幼儿领域，给婴幼儿冲泡奶粉时，需要将奶粉调试到适合幼儿饮用的温度。人们可能希望在照看孩子的同时远程控制奶粉温度，或者希望只冲泡一次，就可以定量多次给幼儿摄入固定温度的奶粉；在基础生命科学领域，需要远程操控恒温箱的温度，以此来保证箱中培养皿细菌的生长条件。

温度控制类型的产品在行业内一般设计为在机器上操作，无法远程控制，不能很好满足上述要求。本产品既可以精确调节液体温度在 50-100 度之间，又可以用手机远程控制且实时监控温度，很适合上述使用情境。还有很多生活中的事件可以用本产品来完成，因此本产品前景广阔，很有研究的意义。

1.3 国内外研究现状分析

1.3.1 测温传感器的研究现状

目前常用的测温传感器主要有热电偶式传感器、铂热电阻 PT100、NTC 热敏电阻、集成温度传感器和数字温度传感器。其中，热电偶式传感器适用范围为 $-200\sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，精度大约为 $0.75\%t$ （约 $\pm 13^{\circ}\text{C}$ ），测量范围过大、精度不足，主要适用于工业生产；NTC 热敏电阻在 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 区间线性不好；集成温度传感器只能精确到 1°C ，精度不足；数字温度传感器和铂热电阻 PT100 精度相近，都为 0.3°C 左右，且都适用于 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，因此我们计划分别购买两种传感器，进一步进行精度比较和环境测试后再决定项目最终采用的传感器^[14]。



图 1 数字温度传感器



图 2 铂热电阻 Pt100

1.3.2 保护电路的研究现状

A 漏电检测电路

现阶段关于漏电检测电路的设计已经比较成熟，主要包含两个方面：一是恒温控制系统在通电启动后极短的时间内主动漏电，用来检测系统的漏电检测电路是否正常有效；另一方面是恒温控制系统在工作过程中万一发生漏电的情况，检测电路能够立即检测到漏电并将漏电信息及时通知控制系统，使其紧急采取安全保护性措施。

B 失控保护模块

失控保护模块是由单稳态电路和限温开关组成的双层保护电路。单稳态电路的数据输入控制端直接与单片机的 I/O 口连接，输出端与限温开关共同控制恒温控制系统的电源总开关。当程序在运行过程中失去控制，导致单稳态电路的数据输入端长期不变时，单稳态电路的输出端将输出低电平信号；或者当温度检测电路检测不正常，导致恒温箱内温度上升太高时，限温开关将断开。这

两者只要发生其中之一，恒温控制系统的总电源就会断开，从而保护系统的安全^[15]。

1.3.3 恒温控制系统研究现状

温度控制是最常见的控制之一，相关恒温控制器的设计多种多样。温度控制方式的选择是恒温控制器设计的重要环节。恒温控制器采用的控制方式最常见的有三种类型，分别是 Bang-Bang 控制、PID 控制以及模糊控制。

Bang-Bang 控制是一种传统的控制方法，它的作用相当于一个继电器，在给定温度设定值后取一个上限和下限，继电器不停开断。当温度升到上限时，继电器断电，停止加热；当温度降到下限时，接通继电器，加热器加热。这种使得温度在两个边界值间不断切换的控制方式被称作 Bang-Bang 控制。

PID 控制是一种工程实际中最为广泛的控制方法，它的控制原理十分简单，即通过被控对象的实时数据与设定值比较后产生误差的比例、积分和微分进行控制。

模糊控制利用模糊数学的基本思想，采用模糊变量来简化系统动态，适用于较为复杂和难以精确描述的系统。

现在关于温度控制的研究很多：王晶晶（2002）将模糊控制代替 PID 控制应用在 S7-300PLC 上来实现恒温控制，以减弱系统的超调量和环境对系统的干扰^[2]。邓恩强等人（2006）设计了一种基于位置式 PID 控制的恒温控制器，具有控温速度快、精度高等优点^[3]。李善寿等人（2008）设计了一种基于 PID 算法和 PWM 技术的嵌入式恒温控制器并将其应用到了微生物分析仪中，将温度波动控制在了 0.5°C 的范围内^[4]。杨艳华等人（2010）结合了改进型 Bang-Bang 控制、自组织模糊控制和 PID 控制设计了一种水浴温度复合智能控制方法，这种方法使恒温水浴具有升温时间短、超调量小、精度稳定度高等优点，并将稳态误差控制在了 0.05°C ^[5]。陈婵娟等人（2016）提出了一种结合了 Bang-Bang 控制和模糊 PID 控制的恒温控制器，很大程度上提高了系统的响应速度、控制精度和稳定性^[6]。Yanfei Liu 等人（2017）采用 BP 神经网络改进 PID 控制算法设计了一种恒温控制器，提高了阶跃响应的速度，大大降低了超调量^[7]。

基于上述内容，我们得知，PID 控制由于其控制原理简单、鲁棒性好，故应用十分广泛，可以满足大多数恒温控制器的设计需求，但其存在调节时间

长、控制效率低的缺点，使得在某些追求效率的情景下 PID 控制难以满足要求。Bang-Bang 控制的两态过渡时间短，但超调量大，故目前单独采用这种控温方式的恒温控制模型极为少见，大多的恒温控制器设计时均将 Bang-Bang 控制与其他控制方式相结合。而模糊控制响应较快、鲁棒性好、对数学模型的依赖性小，在温度控制上也有较为广泛的应用。

同时，我们还发现，早期的恒温控制器大多采用单一的温度控制方法，而现阶段的恒温控制器已尝试采用新型技术来改进传统控制方法；或者试图将几种控制方法相结合，以充分利用不同方法的优点，并平衡各自的缺点。现阶段，恒温控制的方式已发展得较为成熟，现今的研究热点在于如何克服传统控制方式的缺点，探求新的改进式的控制模型，以实现快响应、高精度的温度控制。

1.3.4 加热方式的研究现状

在加热方面，目前国内外采用的加热方法主要有电热丝加热、燃油燃气加热、红外线烤灯管加热、蒸汽加热、太阳能加热等等。经讨论，电热丝适用于 220 伏特交流电环境，不需要其他能源，可以使加热功率完全集中，热场分布恒定，而且原理简单操作性好，成本也低，所以我们决定使用电热丝加热的方法来进行加热^[8]。在制冷方面，目前国内外采用的制冷方法主要有压缩机制冷、制冷剂蒸发制冷，化学方法制冷、半导体制冷等方法。这些方法原理各异，优劣不同，结合我们项目的成本以及产品的实用性、重复性，经讨论我们决定采用电学器件半导体制冷的方法。半导体制冷主要有以下优点：制冷迅速、操作简单、可靠性强，易于实现高精度的控制，无污染等^[9]。半导体制冷和电热丝加热同为使用电能改变温度的元件，适用于本项目的设计要求，适合我们进行项目的设计制作。

1.3.5 交互与显示装置研究现状

目前，市面上的恒温箱主要通过晶体管或液晶显示屏等方式显示温度信息，同时在产品上设置控制按钮，以此实现对恒温箱温度的控制。这种方法简单可靠，但模式单一，难以满足复杂控温任务和远程控制的需求。

二、方案研究

2.1 研究目标

设计一个可以保持恒定温度的恒温控制系统，并且具有以下功能：

1. 可以实现温度的无级调节（以 1°C 为单位）。
2. 可以使恒温箱在 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 内保持恒温，并且误差不超过 1°C 。
3. 可以用微信小程序显示并控制恒温温度。
4. 具有漏电和失控保护功能，具有一定的安全性。
5. 以 220V 交流电为电源。

2.2 研究内容

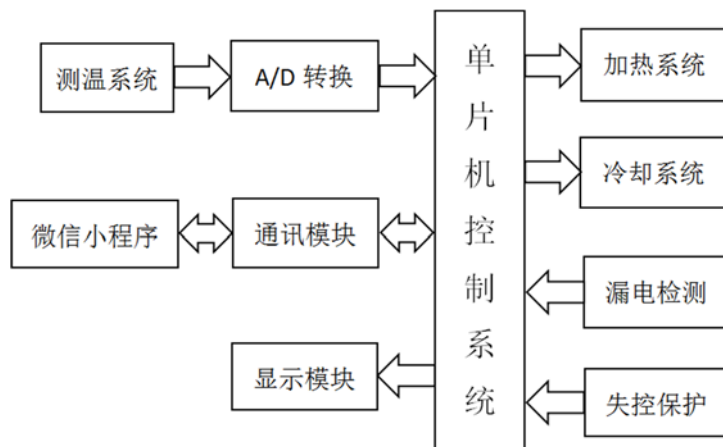


图 3 恒温控制系统硬件结构框图

2.2.1 核心控制系统

核心控制系统以单片机为基础，是整个系统的核心部分，连接着系统的其他各个部分。各个系统将获得的信号传给单片机进行处理，单片机经过运算后再通过输出端将信号传给相应的系统作用。单片机最主要的作用是通过 Bang-Bang 控制、PID 算法和模糊算法确定加热、制冷的时间，维持恒温箱内温度恒定。

2.2.2 测温系统

测温系统现在有两种方案可供选择，若选择铂热电阻 Pt100 测温，铂热电阻可将温度信号转化为模拟电压信号，再通过 A/D 转换，转化为可供单片机处

理的数字信号；若采用数字温度传感器，则可直接将温度信号转化为数字信号，传给单片机处理。

2.2.3 通讯、显示模块和手机端控制

本项目中采用了蓝牙通讯模块和 LED 显示模块，由于单片机及拓展模块的技术已经较为成熟，所以将蓝牙模块和显示模块与单片机直接连接并进行配置即可。本项目的重点与创新点之一是小程序的开发，通过小程序显示并控制恒温箱内温度。

2.2.4 加热与冷却系统

加热采用最常用的电阻丝加热，方便快捷；制冷则采用基于帕尔贴效应的半导体制冷方法，该方法噪音小、占用空间少，适合在体积不大的恒温箱中使用。

2.2.5 漏电检测与失控保护

由于电路保护部分的相关研究已经相当成熟，所以本项目中直接采用在 1.3.2 中提到的保护方法。

2.3 拟解决的关键问题及难点

2.3.1 电路的设计以及元件参数的选择

目前小组成员的电路设计基础较为薄弱，在电路设计中容易出现各种各样的问题；即使电路设计完成后，由于理论与实际的差距，很可能还存在大量设计不合理、元件参数选择不合适的地方，需要用大量的时间来调试设备。

2.3.2 恒温控制问题

实现恒温控制的关键在于系统如何做到快速过渡到设定的温度，并精确稳定在期望的温度值上。而难点则主要体现在：

- (1) 如何快速达到设定温度。
- (2) 向目标温度过渡的过程中如何精确地把控以减少系统的超调量。
- (3) 在达到设定温度后，系统会因为散热以及其他扰动而产生温度的波动。如何才能抵抗这些扰动，将温度值始终控制在目标温度值上。

2.3.3 实现手机控制恒温箱

在连接操作尽可能简单的前提下，从零开始学习单片机的配置与小程序的编写，实现手机与单片机之间的通信。

2.4 拟采用的研究方法、技术路线

2.4.1 电路设计方面

本课题组拟采用先仿真后实践制作的研究方法，查阅大量文献，预习课本后面的内容，参考部分设计合理的电路，理解其中的原理，按照设计进行产品的架构并完成电路设计和仿真计算。然后调试修改，完成设计目标。

实践操作时，在学会电路焊接、产品制作的基础上进行试验，验证控温电路的实际合理性。制作产品，连接每一模块，并进行反复调试，直至达到理想效果。

2.4.2 温度控制原理方面

了解了 Bang-Bang 控制、PID 控制以及模糊控制的优缺点后，我们知道 Bang-Bang 控制的两态过渡时间短，因此我们可以在从最初始温度升温时采取这种控制方式以迅速升温到和目标值相差不大的温度点；模糊控制具有响应较快、鲁棒性好的优点，因此我们将其应用在目标温度与实际温度相差较小的情况下以减少系统的超调量；最后，当温度误差小于模糊控制的静态误差时，我们采用 PID 控制以减少系统的静态误差。

综合上述内容，我们尝试探索一种复合控制方法，采取三种控制方式相结合的方式，Bang-Bang 控制用以控制初始升温，模糊控制用以向目标温度逼近、而 PID 控制用以调节温度静态误差，以最终达到恒温控制器响应快、高精度、高稳度的控制效果。

2.4.3 单片机方面

单片机主要有 51 单片机，Arduino 单片机和 STM32 系列单片机三种。其中 STM32 的适用面最广，学习之后最有用，所以我们拟选用 STM32 系列单片机，学习相关模块的配置，完成设计要求。

2.4.4 显示与交互方面

(1) 在保温箱箱体上，拟采用数码管显示温度，同时应设计操作按钮。

根据 LED 的显示译码方式,可以分为硬件译码和软件译码两种。使用软件编码会影响整个软件的运行速度,所以我们打算使用硬件译码方式,并采用译码器。

根据 LED 显示驱动连接方式,可以分为静态显示驱动和动态显示驱动两种。动态显示节约数据线,功耗低,因而我们选择使用动态显示方式。

最后,根据数据接口方式,我们分为并行和串行两种。这里根据单片机的具体型号、接口数目等因素进行选择^[10]。

(2) 题目要求:手机可设定并显示恒温温度。要实现这个功能,需要硬件和软件两方面准备。

硬件方面,我们将选择蓝牙方式。

如果要想实现个人移动端(手机)与单片机的信息传输与相互控制,目前主要可以通过蓝牙(注意适配 IOS 系统)、红外感应或网络这三种方式来实现。红外感应在手机上的普及度较低,我们不予采用。而网络方式需要由单片机上的 WIFI 模块配置无线局域网,这将导致使用者在连接设备时,无法接入互联网查询自己需要的内容。而蓝牙技术十分成熟,同时使用者在蓝牙控制设备时,可以与 WIFI 或移动网络共用,配置也较为简单,很适合我们的项目^[11]。所以,我们决定选用蓝牙模块。

软件方面,我们决定选用微信小程序来实现。小程序与 APP 都能实现蓝牙通信功能。一直以来,人们主要通过手机 APP 实现蓝牙的配置。APP 功能强大,界面美观,但是,对于这样一款保温箱来说,开发 APP 有如下缺点:

(1) 难以获取。必须有途径下载 APP,才能实现对保温箱的控制。但这样一款使用率较低的应用,可能无法进入主流应用市场,即使找到了 APP,还需要下载,这就给使用带来不便。

(2) 版本较为复杂。如果要想实现保温箱的全平台配置,APP 需要开发安卓版、IOS 版、Windows Phone 版三个版本。这对于一款使用频率较低的保温箱来说,开发成本过大。

(3) 需要考虑兼容性。由于不同系统版本、不同机型有区别,APP 开发务必要考虑兼容性。

(4) 占用手机存储空间^[12]。

而微信小程序（Mini program），简称小程序，是一种不需要下载安装即可使用的应用^[13]。针对 APP 的缺点，小程序有以下改进：在获取难度方面，小程序的理念在于即用即走，直接扫描设备上的小程序码即可使用；版本方面，小程序只需要开发一版；兼容性方面，由于基于微信平台，小程序几乎无需考虑设备版本兼容性；而且小程序包只有不到 1M，几乎不占存储空间。

这种即用即走的特性，非常适合保温箱使用，所以我们决定选用小程序。

三、预期达到的目标及研究成果

制作出一个恒温箱实物，并且能实现以下功能：

1. 可以实现温度的无级调节（以 1℃为单位）
2. 可以使恒温箱在 50~100℃内保持恒温，并且误差不超过 1℃
3. 可以用微信小程序显示并控制恒温温度
4. 具有漏电和失控保护功能，具有一定的安全性
5. 以 220V 交流电为电源

在项目推进过程中，每个成员在电路设计，团队协作等方面都可以收获良多。

四、课题进度安排及分工

任务分工：

Stm32 单片机配置与编程：李谨杰和雷彤彤

小程序设计：杨曼鑫

电路设计及焊接：赵谦 杨曼鑫 李谨杰 雷彤彤

实物设计（箱子尺寸 材质）：赵谦 李谨杰

进度安排：

第一到二周（3.5-3.18） 查询资料 完成开题报告

第三周（3.19-3.25） 各队员对之后自己的工作如何开展列出计划，并与电路设计同期进行。

第四到五周（3.26-4.8） 电路设计完成，并进行仿真。

第六周（4.9-4.15）明确所有型号，并买齐所有元件。

第七周（4.16-4.22）完成单片机的配置与读取程序的编写

小程序做完

实物设计图纸完成

第八周（4.23-4.29）准备中期答辩

第九周到第十周（4.30-5.12）实物制作完成（包括保温箱的制作，电路搭接，小程序、单片机之间的通信与连线等）

第十一周到十三周（5.14-6.3）进行测试、改进，完成设计。

第十四周（6.4-6.10）拓展新功能，试验新算法，优化产品。

第十五周（6.11-6.17）准备期末答辩和产品展示

第十六周（6.18-6.24）答辩 产品展示

五、主要参考文献

- [1] <https://wenku.baidu.com/view/e88c5d73a417866fb84a8ea2.html> 温度控制系统研究背景与现状 百度文库
- [2]王晶晶. 在 S7-300 中利用模糊控制算法实现恒温控制[J]. 信息技术与信息化, 2002(4):31-32.
- [3]邓恩强, 关卫军, 关社军. 利用位置式 PID 控制算法实现对恒温箱的控制[J]. 电子元器件应用, 2006(12):39-40.
- [4]李善寿, 方潜生, 肖本贤, 等. 基于单片机的恒温控制器的设计和实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(12):197-199.
- [5]杨艳华, 汪鲁才, 艾琼龙, 等. 恒温水浴温度复合智能控制方法与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2010, 15(8):85-88.
- [6]陈婵娟, 杜景山, 黄祥, 等. Bang-Bang+模糊 PID 温度控制器在啤酒糖化生产中的设计与实现[J]. 食品工业, 2016(1):232-235.
- [7]Liu Y, Wang J, Yang J, et al. An Improved PID Algorithm Based on BP Neural Network of Ambient Temperature Controller[C]// International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics. Springer, Cham, 2017:117-122.
- [8]阎玉英, 徐国盛. 几种恒温槽控温电路的分析探究[J]. 无线电工程, 2014, 44(11):69-72.
- [9]贾艳婷, 徐昌贵, 闫献国, 田志峰. 半导体制冷研究综述[J]. 制冷, 2012, 31(01):49-55.
- [10]赵战民. 数码管显示方法的比较[J]. 科技信息 (科学教
研), 2007, (3):70, 26. DOI:10.3969/j.issn.1001-9960.2007.03.049.
- [11]Simon Finch. 关注细节以确保蓝牙+WiFi 的服务质量[J]. 电子技术应用, 2007(12):8-10.
- [12] <https://www.zhihu.com/question/61504119/answer/188660009> 许启辉的回答
- [13]<https://baike.baidu.com/item/%E5%BE%AE%E4%BF%A1%E5%B0%8F%E7%A8%8B%E5%BA%8F/20171697?fr=aladdin&fromid=20056403&fromtitle=%E5%B0%8F%E7%>

A8%8B%E5%BA%8F 微信小程序 百度百科

[14] 宁飞. 车载医用恒温控制系统设计[D]. 哈尔滨理工大学, 2014.

[15] 詹训进. 基于单片机的浴缸恒温控制系统[J]. 机电工程技术, 2008(07):97-99+140.