

温度控制器

1. 系统概述

温度控制系统是一个自动控制系统，用于将一个恒温控制箱的温度保持在某个固定温度。恒温控制箱的温度在自然条件下会慢慢下降，具体下降的速度和外界条件有关。

温度控制器能够控制加热棒和散热风扇，对恒温箱的温度进行控制和调节。其中加热棒能够对恒温箱进行加热；加热速率和加热棒输出电压相关。散热风扇能够对恒温箱进行降温。同时，温度控制器可以通过一个传感器获取到恒温箱的当前温度，并且根据这个采集值，决定加热棒的输出电压和散热风扇的开、关。

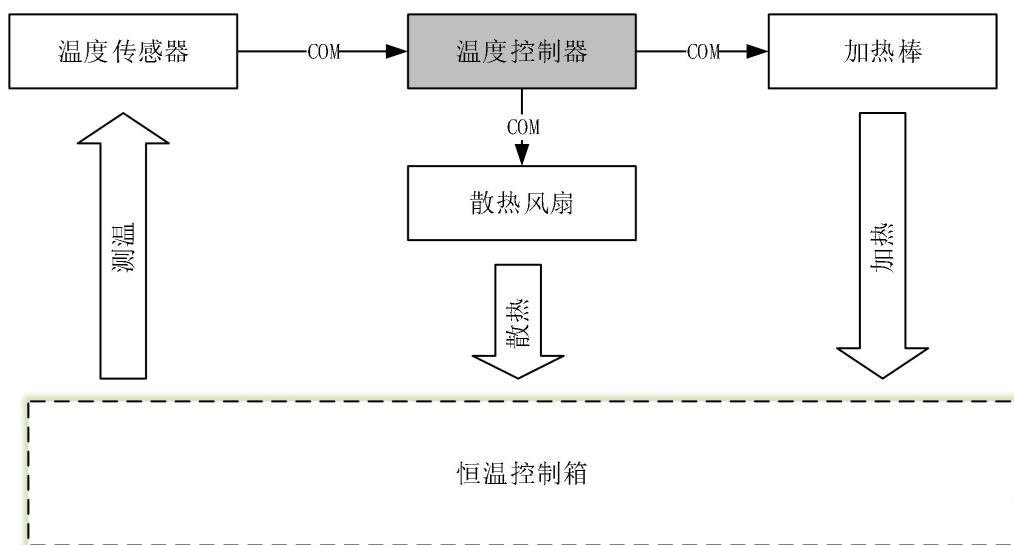


图 1 温度控制系统

从上图可以看出，整个系统由温度控制器、温度传感器、加热棒、散热风扇和恒温控制箱组成。其中温度控制器是嵌入式计算机系统，运行嵌入式软件，是我们的被测对象。

系统的工作流程是：首先，用户在温度控制器上设定恒温控制箱的目标温度，并启动系统；然后，温度控制器就进入自动运行状态，采集输入温度，确定加热棒加热电压和散热风扇的开关。

恒温箱的温度变化遵循物理模型。假定外界温度等条件是固定的，那么恒温箱的温度应该能够在一定时间范围内，稳定在目标温度附近，整个系统的工作就是正常的。

本文档对温度控制器的工作方法进行了描述。选手需要对给出的被测软件进行测试，验证其工作是否同需求文档的描述一致（包括功能需求、接口需求、性能需求；标注“不

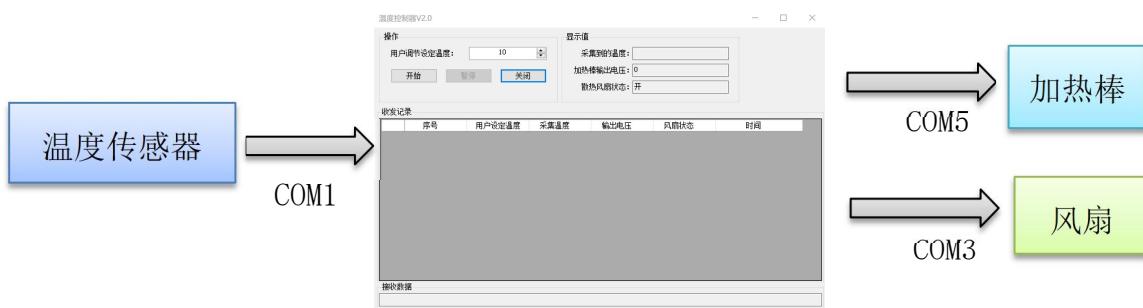
做测试要求”的除外）。

2. 功能需求

功能需求包括系统启动、系统循环控制、温度采集、加热棒输出、散热风扇输出这几部分。

被测软件为了使用方便，将接口形式进行了转化，输入输出数据都使用串口 COM 来进行。具体描述如下：

软件启动后，进入“串口设置”界面，设置使用的串口端口号和参数，点击“确定”后，开始通信。数据包格式见第三章的描述。



三个 COM 口的通信参数都是：波特率为 9600，校验位无，数据位 8，停止位 1。

2.1. 系统启动(F_start)

温度控制器初始状态为：

1. 温度控制器状态：停止状态；
2. 被控恒温箱的初始设定温度：10 摄氏度；
3. 加热棒初始输出电压：0V；
4. 散热风扇初始状态：停止状态。

2.2. 系统循环控制(F_Control)

用户在界面上输入设定温度，并点击“开始”按钮，温度控制系统启动，并开始以 1.2S 为周期（误差小于 3%），循环输出加热棒信号和散热风扇控制信号（使用当前系统输出电压值和风扇状态）。

用户点击界面上的“暂停”按钮，停止输出加热棒信号和散热风扇控制信号。

2.3. 温度采集(F_Sensor)

温度控制器从串口读取数据包，获得当前温度，并显示在软件界面中。

当前温度值的有效范围是：(-20°C) 到 50°C。当收到的温度值超出范围时，截断为边界值。

温度采集完成后，会进行加热棒电压计算和输出、散热风扇状态计算和输出，并且重启 2.2 节中的系统循环控制计时器。

2.4. 加热棒输出(F_Heater)

注：温度控制器当前时刻 k 输出的电压值 V(k) 的计算，不做测试要求。

温度控制器计算当前时刻 k 输出的电压值 V(k)。计算公式为：

$$V(K) = V(K - 1)$$

$$= Dp * [e(k) - e(k - 1)] + Di * e(k) + Dd * [e(k) - 2e(k - 1) + e(k - 2)]$$

其中 V(k) 为当前时刻 k 输出的电压值，V(k-1) 为上一时刻输出的电压值。Dp、Di、Dd 是控制系数，Dp=0.05、Di=0.1、Dd=0.1。e(k) 为当前时刻 k 的温控差值，计算公式为：

$$e(k) = Td - T(k)$$

其中 Td 为设定温度，T(k) 为当前温度。

如果计算得到的电压值为负值，截断为 0。电压单位为伏。

计算完成后，控制器按照 3.2 节的要求，输出一帧加热棒输出数据包，包含得到的电压数值 V(k)。

2.5. 散热风扇输出(F_Fan)

温度控制器根据当前温度，向散热风扇发送不同的控制指令，具体方式如下：

1. 当连续检测到 3 次当前温度大于设定温度+3 时，散热风扇开始转动；
2. 当连续检测到 3 次当前温度小于等于设定温度时，散热风扇停止转动；
3. 以上两个条件都不满足时，散热风扇的状态保持不变。

计算完成后，控制器按照 3.3 节的要求，输出一帧散热风扇输出数据包，包含得到的风扇控制指令。

3. 接口需求

接口需求包括了温度控制器与温度传感器、加热棒、散热风扇之间数据包格式。具体描述如下。

3.1. 温度传感器输入接口(I_Sensor)

温度控制器采集温度传感器的当前温度，其格式如表 1 所示。

表 1 温度传感器输入接口数据帧格式

| 字节号 | 长度 | 字段 | 内容 |
|------|----|--------|---|
| 0-1 | 2 | 包头 | 固定值: 0xFF 0xFA |
| 2 | 1 | 数据类型 1 | 固定值: 0x01 (传感器数据) |
| 3 | 1 | 数据类型 2 | 固定值: 0x10 (温度) |
| 4 | 1 | 数据长度 | 固定值: 0x04 (数据长度) |
| 5-8 | 4 | 温度值 | 单精度浮点型，小端字节序 |
| 9-10 | 2 | 校验和 | 校验位，xx xx (从第 2 号到 8 号字节按字节进行累加和，得到校验码) 小端字节序 |
| 11 | 1 | 包尾 | 固定值: 0x0F |

输入接口处理时，要考虑数据帧格式的容错处理，容错处理的要求如下：

- (1) 当接收到的校验和字段发生错误时，数据包格式不正确，丢包。
- (2) 包头、数据类型 1、数据类型 2、数据长度、包尾应该按照要求填写，否则数据包格式不正确，丢包。

3.2. 加热棒输出接口(I_Heater)

温度控制器依据功能需求向加热棒发送数据，其数据格式如表 2 所示。

表 2 加热棒输出接口数据帧格式

| 字节号 | 长度 | 字段 | 内容 |
|------|----|----------------|---|
| 0-1 | 2 | 包头 | 固定值: 0xFF 0xFA |
| 2 | 1 | 数据类型 1 | 固定值: 0x02 (执行数据) |
| 3 | 1 | 数据类型 2 | 固定值: 0x11 (工作电机组) |
| 4 | 1 | 数据长度 | 固定值: 0x04 |
| 5-8 | 4 | 加热棒输出电压 (单位为伏) | 单精度浮点数，小端字节序 |
| 9-10 | 2 | 校验和 | 校验位，xx xx (从第 2 号到 8 号字节按字节进行累加和，得到校验码) |

| | | | |
|----|---|----|-----------|
| | | | 码），小端字节序 |
| 11 | 1 | 包尾 | 固定值: 0x0F |

3.3. 散热风扇输出接口(I_Fan)

温度控制器依据功能需求向散热风扇发送数据，其数据格式如表 3 所示。

表 3 散热风扇输出接口数据帧格式

| 字节号 | 长度 | 字段 | 内容 |
|-----|----|--------|---|
| 0-1 | 2 | 包头 | 固定值: 0xFF 0xFA |
| 2 | 1 | 数据类型 1 | 固定值: 0x02 (执行数据) |
| 3 | 1 | 数据类型 2 | 固定值: 0x22 (风扇) |
| 4 | 1 | 数据长度 | 固定值: 0x01 |
| 5 | 1 | 操作指令 | 0: 关闭风扇 1: 打开风扇 无符号整形 |
| 6-7 | 2 | 校验和 | 校验位, xx xx (从第 2 号到 5 号字节 按字节进行累加和, 得到校验码), 小端字节序 |
| 8 | 1 | 包尾 | 固定值: 0x0F |

4. 性能需求

4.1. 温控稳定时间性能需求(P_Control)

请按照本节附的恒温箱温度变化模型，通过时刻 t_1 温度控制器输出的加热棒电压和散热风扇工作状况，计算出恒温箱下一时刻 t_2 的温度，并将温度信息作为温度传感器采集的输入数据，反馈给温度控制器，从而模拟整个温控的过程。 t_2 和 t_1 的时间间隔取固定值 1 秒。

从开始控温时刻起，到恒温箱温度和设定温度之差的绝对值连续 10 次小于 1 摄氏度的时刻为止，所经过的时间为温控稳定时间。

系统的温控稳定时间指标为：不大于 1 分钟。

要求分别测出下列三种情况下的温控稳定时间，并且判定是否满足温控稳定时间指标。

性能测试 1：当设定温度为 10，箱外温度为 0 时；

性能测试 2：当设定温度为 20，箱外温度为 10 时；

性能测试 3：当设定温度为 20，箱外温度为 0 时。

附：恒温箱温度变化模型

恒温控制箱温度变化情况由加热部分和散热部分共同决定。

1、加热部分：单位时间 t 内对恒温控制箱增加的热量

$$Q_i = \frac{V \cdot V \cdot t}{R}$$

(V 为加热棒两端所加电压，R 为加热棒电阻。t/R=0.2)

2、散热部分：单位时间 t 从恒温箱散失的热量为

$$Q_o = C * (T - T_o) * t * S + F_s * t$$

(C 为散热系数，T 为恒温箱内部温度，To 为恒温箱外部温度，S 为散热面积。当散热风扇打开时，Fs 为风扇的散热系数；当散热风扇关闭时，Fs 为零。C*S=0.1、Fs=2)

3、单位时间内恒温控制箱上升的温度为

$$\Delta T = \frac{Q_i - Q_o}{c * m}$$

(c 为空气比热容，m 为空气的质量。 $\frac{1}{c*m}=1$)

单位时间可取温度传感器输入采集温度的时间间隔。