

# 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。

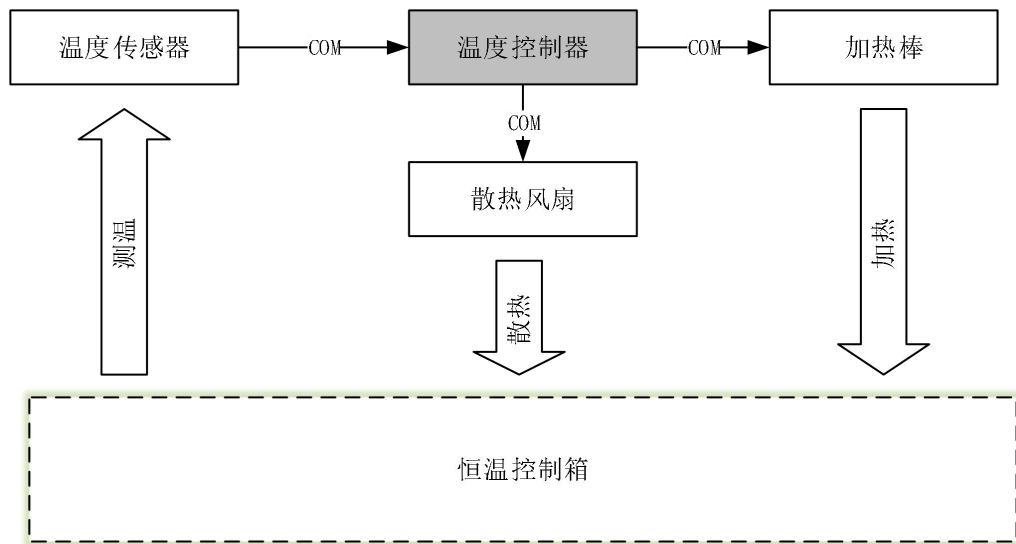


图 1 温度控制系统

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

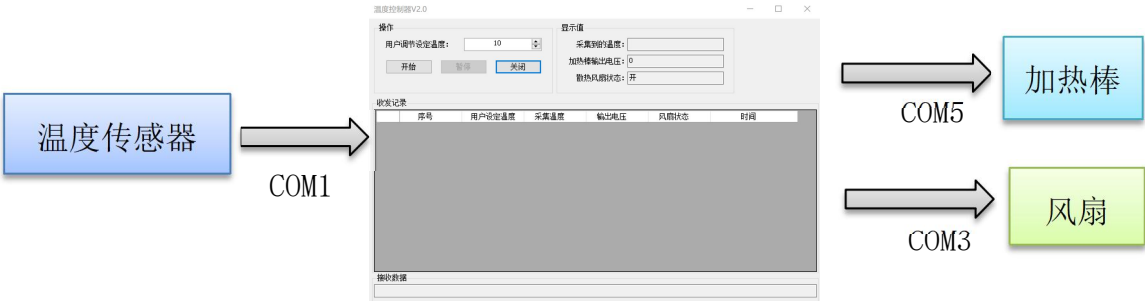
做测试要求”的除外）。

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℃)到 50℃。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：

$$\begin{aligned} V(K) - V(k-1) \\ = Dp * [e(k) - e(k-1)] + Di * e(k) + Dd * [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned}$$

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)，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 t1 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 t2 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<sub>2</sub>和 t<sub>1</sub>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

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

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

3、单位时间内恒温控制箱上升的温度为

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

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

单位时间可取温度传感器输入采集温度的时间间隔。