

民用甲醇采暖炉控制原理与电控系统的研发

张树荣

广东瀚宇新能源装备有限公司 广东 江门 529100

【摘要】：本门主要讲述了民用甲醇采暖炉的原理和控制器开发流程，阐述了控制器的硬件和软件的开发技术要点，并且对开发工作进行了总结与说明。

【关键词】：甲醇；采暖炉；STM32；PID；物联网；宽域氧传感器

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.040

前言

我国的能源储备特点是“富煤贫油少气”，煤炭是我们的主要一次能源。在煤炭的炼制过程中，可大量产生甲醇。甲醇含氧量高，容易充分燃烧，对环境污染较少，是一种较有前途的代用燃料和清洁燃料。公司为响应国家碳达峰、碳中和的战略方针，决定研发一款低碳减排的取暖产品供给北方没有天然气地区使用，采用甲醇燃烧取代传统的生物质或煤炭燃烧取暖的方式。为了提高采暖炉的能效比，必须提高其换热效率与燃烧效率，而高的燃烧效率就需要风道结构设计与空燃比的互相配合完成。作为燃烧控制器如何适应不同地区氧含量，控制空燃比就是系统的一个需要解决的问题。本系统通过变频风机与氧宽域传感器配合，实时检测烟气管道排放的氧含量从而调整配风风机的送风量，实现燃烧的闭环控制，使得甲醇采暖炉能够适用不同地区燃烧要求，达到最佳的燃烧效果。本文以本公司生成的15kW民用甲醇采暖炉为例，对自主研发的甲醇采暖炉控制器的开发过程进行专项工作报告。

1 民用甲醇采暖介绍

民用甲醇采暖炉（以下简称甲醇采暖炉）其额定热输入小于或等于32kW，最大采暖工作水压不大于0.3MPa，工作水温不大于75℃。采暖炉的整体结构（图一）方案主要包括有机箱外壳、换热器、燃烧器（炉头）、折流片、控制器及其组件等主要部件组成。实现甲醇的燃烧、换热过程的自动控制取暖产品。可以应用于家用采暖或商业活动采暖和特定条件的生活热水供应，其整体安装如图三所示。

甲醇采暖炉的原理主要分为三大部分，第一是甲醇燃烧原理，第二是换热原理，第三是控制原理。下面分别对这三部分原理进行讲解。

甲醇燃烧原理，根据甲醇的燃烧化学式（ $2\text{CH}_3\text{OH}+3\text{O}_2=2\text{CO}_2+4\text{H}_2\text{O}$ ）可以看出甲醇在氧气中充分燃烧会产生水和二氧化碳。通常甲醇的燃烧方式有3种、气化燃烧、雾化燃烧和裂解燃烧。我们的甲醇采暖炉采取了雾化燃烧原理，甲醇泵将甲醇从甲醇罐抽出并加压使其从喷嘴喷出，变成雾化状。同时送风风机向燃烧室送入空气，点火针工作将混合气点燃，从而使其持续燃烧。

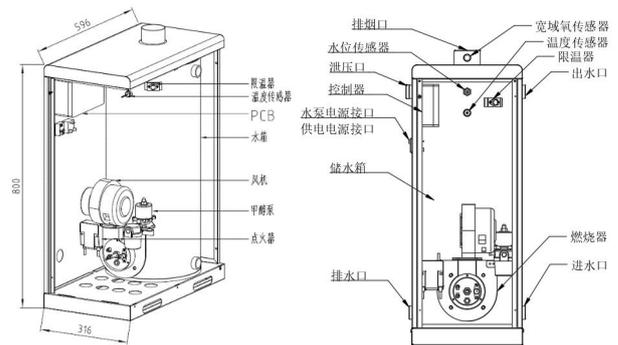


图1

换热基本原理，换热器底部与甲醇燃烧器相连，甲醇燃烧器燃烧甲醇过程中产生热量对换热器进行加热。外置循环水泵将水抽到换热器内，先从换热器底部高温区进水口进入，吸收换热器的热量后，再经过换热器上部出水口流出，换热器上部设有温度传感器检测水温，控制甲醇燃烧器工作。加热后的温水进入采暖管道和取暖片，最后再返回换热器，构成循环换热器系统。通过使甲醇在炉膛内燃烧，燃烧热量通过炉膛壁与水箱内的水进行对流换热，向用户提供采暖所需热水。

控制原理又分为水温的控制和燃烧的控制，水温的控制主要是通过控制甲醇的燃烧来保障采暖水温在一个合适的范围内。通过显示屏下方的按钮设置采暖水目标温度，温度传感器检测水箱温度，若低于设定目标温度，主控制器控制甲醇泵与风机工作，当水温达到目标温度时，主控制器控制甲醇泵与风机停止工作，加热停止。当水温下降幅度大于回差温度时，采暖炉重新启动加热功能，相当于定频空调的温控原理。燃烧控制是指甲醇燃烧状态的控制，可以分为两个流程，先是点燃流程，然后是优化燃烧流程。在喷出雾化甲醇点燃前先通过送风风机以最大转速对燃烧炉膛和烟气管道进行清扫90秒左右，目的是为了清除残余在炉膛内的甲醇，防止在下次点燃时会产生爆燃现象。在清扫完毕后，风机转速降低到点火转速下进行送风，点火针开始拉弧，随后甲醇泵开始抽取甲醇使其从喷嘴雾化喷出，空气经过风罩内壁管道设计的旋流片进入燃烧室，进入燃烧室后与雾化后的甲醇混合，遇到高压电弧后马上点燃，并且通过火焰传感器检测其是否处于燃烧状态，如果点燃失败或者燃烧过程中熄灭就会重新执行点火流程，连续三次失

败之后就停机报警。在完成点燃流程后,就进入优化燃烧流程使甲醇燃烧能达到最佳的效果,不但能提高热效率,还能减低一氧化碳的排放。甲醇点燃初期,送风风机以固定转速送风,通过安装在烟气管道上的宽裕氧传感器监测器烟气的状况,从而调节送风风机的转速,使得空燃比达到一个最佳的状态,从而实现降低一氧化碳和氮氧化物的排放。

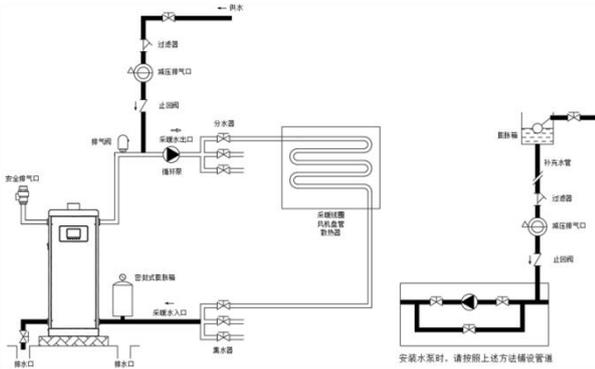


图 2

2 控制器硬件开发

要实现甲醇的自动燃烧与控制,控制器的开发是一切的基础,设计时需要从全局考虑进行整体规划,要实现的功能都必须以硬件作为载体。本采暖炉要实现的主要功能包括远程开关机、多重安全防护、温度调节、本地一键启停、高效燃烧、多段定时开关、燃料液位检测等等。要实现这些功能就需要有对应的接口。下面对每个功能需要的接口配合电路图进行详细讲解。

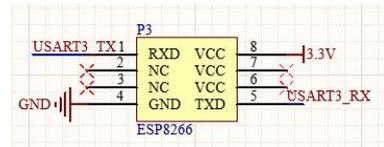
1. 远程开关机功能,需要控制器有接入互联网的功能,目前市面上的 WIFI 模块都可以通过串口通信,使得系统接入互联网。因此需要预留 Uart 口作为 WIFI 模块接入使用。本控制器使用的是乐鑫的 ESP8266。采用 8 脚直插转接方式。可以直接插入到 PCB 板的接插件上,如图 3。ESP8266 尺寸为 5x5mm, ESP8266 模



(图 3)

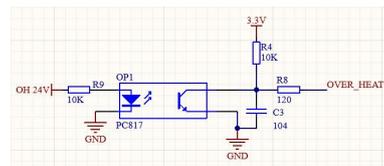
组需要的外围器件有: 10 个电阻电容电感、1 个无源晶振、1 个 flash。工作温度范围: -40~125℃。ESP8266 是一个完整且自成体系的 WiFi 网络解决方案,能够独立运行,也可以作为 slave 搭载于其他 Host 运行。ESP8266 在搭载应用并作为设备中唯一的应用处理器时,能够直接从外接闪存中启动。内置的高速缓冲存储器有利于提高系统性能,并减少内存需求。另外一种情况是,无线上网接入承担 WiFi 适配器的任务时,可以将其添加到任何基于微控制器的设计中,连接简单易

行,只需通过 SPI/SDIO 接口或中央处理器 AHB 桥接口即可。ESP8266 强大的片上处理和存储能力,使其可通过 GPIO 口集成传感器及其他应用的特定设备,实现了最低前期的开发和运行中最少地占用系统资源。ESP8266 官方提供的 rom 主要有两个,一个是支持 AT 命令修改参数的 AT 系列 Rom,使用此 rom 时,可以使用 AT 命令来设置芯片的大部分参数,同时也可将芯片设置为透传模式,这样 ESP8266 就相当于在互联网和 UART 之间架起了一座桥梁。另一个就是物联网的 Rom 了,此 Rom 可以通过命令来控制 ESP 的部分 GPIO,而且 ESP8266 也可以采集一些温湿度传感器的数据,然后发送到互联网上。因此只需要在 PCB 板做对应的 8 针接口即可。如图 4 所示。



(图 4)

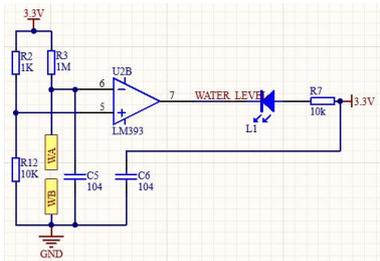
2. 超温防护的功能主要是为了防止在温控传感器失效时循环水路的水温过热,导致管道膨胀或烫伤现象,其实现原理较为简单,只需要用一个常闭型限温器固定在水箱表面来实现即可。当水箱表面超温时,限温器自动把继电器的工作电源(DC24V)切断,同时通知 MCU 水箱已经超温。限温器常用温度规格有多种,范围覆盖 40℃~170℃。这里采用常闭型 75℃ 限温器,即其接触温度达到 75℃ 或以上限温器的常闭触点就会断开,反之就闭合。监测超温电路如图 5,从图中可以看出 OH_24V 为限温器的 DC24V 电源信号,当水温超温时,OH_24V 消失,光耦 PC817 截至,OVER_HEAT 为高电平,反之当水温没有超温时,有 OH_24V 信号,光耦 PC817 导通,OVER_HEAT 为低电平。MCU 通过检测 OVER_HEAT 信号即可判断水箱温度是否超温,执行超温防护功能。



(图 5)

3. 防干烧防护主要是为了防止水箱没有足够的水的时候采暖炉依然处于工作状态,把水箱(燃烧腔)壁烧穿。防干烧防护需要检测水箱内有没有水足够的水就可以。常用的生活用水因为水中含有各种金属离子,比如说铁离子、镁离子、钙离子等,使得水具有导电性,含量越多,导电性越高。因此我们可以利用此特性来检测水箱里面水的水位。检测信号一端接到水箱外壁,另外一端接到到水箱指定水位高度上,并且与水箱外壁绝缘,只要水箱内有足够水的时候,就会导通。因此利用 MCU 检测的方法也比较简单,通常是利用 AD 转换或者比较器实现,利用 AD 转换成本较低,不同地区的水质适应性也比较强,但是由于直接信号与外壳相连,容易导致 MCU 的 ADC 口损

坏。另外一种办法就是利用比较器实现，比较器是将一个模拟电压信号与一个基准电压相比较的电路。比较器的两路输入为模拟信号，输出则为二进制信号0或1，当输入电压的差值增大或减小且正负符号不变时，其输出保持恒定。原理可以将比较器当作一个1位模/数转换器(ADC),MCU只需要判断比较输出出口的高低电平。原理图如图6所示。从图中可以看出R2与R12组成了基准电压电路，WA为接到水箱外壁信号，WB为接到液位检测针上，与R3组成了模拟信号。但是R3的取值会受到水质的影响。由于我国北方地区水质普遍偏硬(导电性高)，因此R3取1MΩ是完全满足使用要求的。



(图6)

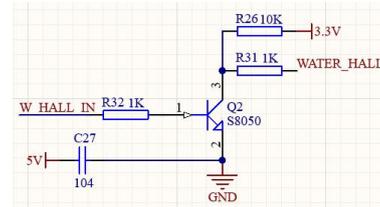
4.水流防护主要是为了防止采暖炉工作时候没有水流并且在水位传感器损坏时导致干烧现象，属于保护的冗余设计。水流防护是需要检测采暖管道中是否有流动的水流，因此可以在管道上安装上水流传感器。在天然气采暖炉中常用的水流传感器如图7。此款水流传感器的原理比较简单，就是管道内部有一个叶轮，叶轮上面有磁体，当有水流流动时候带动磁体旋转，安装在外部的开关量霍尔传



(图7)

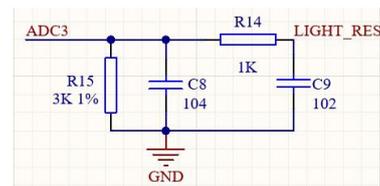
感器感应到交变的磁场就会输出脉冲信号，流量越大，脉冲信号周期越小，约396个脉冲信号1升水。计算公式(6.6*Q) Q=L/Min±3%。因为脉冲信号直接反应出流量的大小，只需要通过MCU检测脉冲信号的个数即可，因此只需要把流量产期的脉冲信号直接接入到MCU的IO引脚，利用MCU的定时器进行脉冲捕获，然后根据计算公式就可以计算出即时的流量大小，电路图如图8。W_HALL_IN是流量传感器的脉冲输出信号，通过三极管Q2由5V转换为3.3V信号，WATER_HALL

接入单片机IO引脚。



(图8)

5.火焰检测的方法最常用的是离子检验法，离子检验法通用性强，几乎不受检测环境条件限制，在常用的燃气炉、热水器上都采用这种方法。但是我们的甲醇采暖炉的燃烧炉膛是封闭式的，因此可以利用燃烧时的火光进行检验。而检测火光最简单的办法就是利用光敏传感器。相对于离子检测法，光敏传感器检测成本低廉，电路简单。我们使用的光敏传感器实际上就是光敏电阻，常用的制作材料为硫化镉，另外还有硒、硫化铝、硫化铅和硫化铋等材料。这些制作材料具有在特定波长的光照射下，其阻值迅速减小的特性。这是由于光照产生的载流子都参与导电，在外加电场的作用下作漂移运动，电子奔向电源的正极，空穴奔向电源的负极，从而使光敏电阻器的阻值迅速下降。利用此特性，只需要判断光敏电阻阻值就可以判断燃烧情况，火焰的大小。检测光敏电阻的阻值也只需要利用MCU的AD转换口，通过检测电阻两端电压就可以把电阻反算出来。电路图如图9。因为光敏电阻为两线制，其中任意一端接到3.3V，另外一端接到ADC3，与R15组成了分压电路，LIGHT_RES接到MCU的ADC口，MCU通过运算即可判断是否有火焰。



(图9)

3 结论

通过这次民用甲醇采暖炉的产品开发工作，学习到做任何开发的时候都需要进行全局统筹，不能单单从一方面去考虑问题。结构、硬件、程序都是环环相扣的，结构会影响到硬件，硬件直接决定了程序。经过一年多的努力，我们成功开发出了民用甲醇采暖炉，为北方农村采暖场景提供了新的解决方案，为国家2030年实现“碳达峰”与2060年实现“碳中和”的目标助力。

参考文献:

- [1] 《freertos 源码详解与应用开发》.
- [2] 《STM32F10xxx 参考手册》.
- [3] 《STM32Cube 高效开发教程》.