

# 带式输送机本质安全型红外测温仪

张立东, 苗长云, 厉振宇, 刘 意

(天津工业大学 电子与信息工程学院, 天津 300387)

**摘要:** 为了解决煤矿井下带式输送机测温仪存在准确性和可靠性差等问题, 本文提出了一种带式输送机本质安全型红外测温仪设计方案, 采用 MLX90614 红外传感器和 STM32F103C8T6 处理器设计了其硬件; 在 Keil 5.14 开发平台上, 采用 C 语言设计了其软件。并进行了实验, 结果表明该红外测温仪测温范围  $-20^{\circ}\text{C}\sim 380^{\circ}\text{C}$ , 分辨率高, 测温准确, 温度测量精度为  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , 可实现非接触测量, 且不易损坏、可靠性高, 可广泛应用于煤炭、矿山、港口、电力、冶金、化工等领域。

**关键词:** 带式输送机; 红外; 本质安全型; 测温仪; MLX90614 红外传感器

**中图分类号:** TN219      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8891(2021)01-0089-07

## Intrinsically Safe Infrared Thermometer for Belt Conveyors

ZHANG Lidong, MIAO Changyun, LI Zhenyu, LIU Yi

(School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of accuracy and poor reliability of the belt conveyor temperature detector in coal mines, this paper proposes a design scheme for the intrinsically safe infrared thermometer of the belt conveyor. The hardware is designed using MLX90614 infrared sensor and STM32F103C8T6 processor; on Keil 5.14 development platform, the software is designed in C language. And conducted experiments, the results show that the infrared thermometer has a temperature range of  $-20^{\circ}\text{C}\sim 380^{\circ}\text{C}$ , high resolution, accurate temperature measurement, temperature measurement accuracy of  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , non-contact measurement, not easy to damage, high reliability, can be widely used in coal, mines, ports, electric power, metallurgy, chemical industry and other fields.

**Key words:** belt conveyor, infrared, intrinsically safe, thermometer, MLX90614 infrared sensor

## 0 引言

带式输送机是一种现代化生产中的连续运输设备, 具有运量大、运距远、运费低、效率高、能耗小、运行平稳、装卸方便、适合于散料运输等优点, 与汽车、火车一起成为三大主力工业运输工具, 已广泛应用于煤炭、矿山、港口、电力、冶金、化工等领域<sup>[1]</sup>。温度是带式输送机的一个重要指标, 通过温度检测能够检测带式输送机的托辊、电机、滚筒等故障, GB/T 3467.9-2017《智慧矿山信息系统通用技术规范》<sup>[2]</sup>规定对带式输送机温度进行检测, 带式输送机综合保护系统中的八大保护装置也包括温度保护。目前带式输送机的测温仪主要采用 PT100 传感器进行检测, 其测温范围窄、分辨率低、准确性差; 接触式检测, 容易

受到外力而损坏, 可靠性差。

本文提出了一种带式输送机本质安全型红外测温仪设计方案, 采用 MLX90614 红外传感器<sup>[3]</sup>和 STM32F103C8T6 处理器设计了其硬件; 在 Keil 5.14 开发平台上, 采用 C 语言设计了其软件。

## 1 红外测温仪设计方案

红外测温仪由处理器电路、温度传感器电路、频率量转换电路、 $4\sim 20\text{ mA}$  转换电路、数码管显示电路、报警电路、激光定位电路、按键及指示灯电路、数据存储电路、串口通信电路、程序下载接口电路和供电电路组成, 其组成框图如图 1 所示<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2020-06-16; 修订日期: 2021-01-06。

作者简介: 张立东 (1983-), 男, 天津市蓟县人, 研发工程师, 在职硕士研究生, 主要从事光电检测技术与系统的研究。E-mail: zhanglidong831007@163.com。

通信作者: 苗长云 (1963-), 男, 教授, 主要从事光电检测技术与系统研究。E-mail: miaochangyun@tjpu.edu.cn。

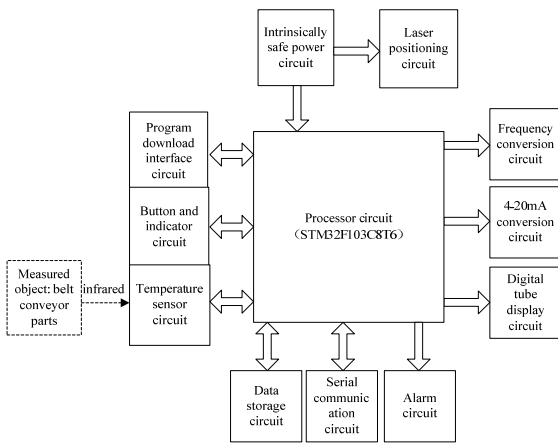


图1 红外测温仪组成框图

Fig.1 Infrared thermometer composition block diagram

温度传感器电路完成温度采集功能；频率量转换电路将采集到的温度数据转换成频率量输出；4~20 mA 转换电路将采集到的温度数据转换成 4~20 mA 电流信号输出；数码管显示电路将采集到的温度数据显示出来；报警电路完成报警功能；激光定位电路用来给使用者指示被测物体的准确位置；按键电路完成参数设置功能；数据存储电路完成发射率等数据存储功能；串口通信电路用作调试；程序下载电路将程序下载到处理器电路中；供电电路为整个电路供电；处理器电路完成数据接收、处理及部分电路驱动功能。

红外测温仪用来实现固定物体的温度检测。物体的红外辐射能量的大小及其按波长的分布与它的表面温度有着十分密切的关系。因此，通过对物体自身辐射的红外能量的测量，便能准确测量它的表面温度。MLX90614 红外传感器电路用来采集固定物体红外能量，处理器电路驱动温度传感器电路，将采集到

的温度数据转换成频率量和 4~20 mA 电流输出，并通过数码管显示电路显示出来。激光定位电路用来辅助使用者来确定温度传感器采集温度数据的准确位置。使用者可通过按键及指示灯电路设置高低温报警阈值及发射率等参数，设置完成后，参数保存在数据存储电路中。当监测到被测物体的温度超出报警阈值会通过报警电路进行报警。

## 2 红外测温仪硬件电路设计

### 2.1 温度传感器电路设计

温度传感器选用美国迈来芯公司的 MLX90614，采集温度范围为 -70℃~380℃，精度为 0.14℃，辐射角度为 10°，SMBUS 总线输出<sup>[5]</sup>。电路图如图 2 所示。

### 2.2 处理器电路设计

核心处理器选用意法半导体公司的 STM32F103C8T6，采用 Cortex M3 内核，主频高达 72 MHz，功耗低，适合做本质安全电路设计。电路图如图 3 所示。

### 2.3 本质安全型电源电路设计

本质安全型电源是指符合 GB3836.1-2010 爆炸性环境第 1 部分：设备通用要求<sup>[6]</sup>和 GB3836.4-2010 爆炸性环境第 4 部分：由本质安全型“i”保护的设备的<sup>[7]</sup>中的相关规定，可以在爆炸性气体环境中使用。为符合本质安全型电路要求，本设计采用美国凌力尔特公司的 LT4356CS-1 芯片，该芯片具有过流和过压保护功能，且过流和过压保护值可调节，采用双重化设计。该电源通过了国家煤矿防爆安全产品质量监督检验中心的检验，并取得了检验报告、防爆证和安全标志证书。该电源的部分电路如图 4 所示。

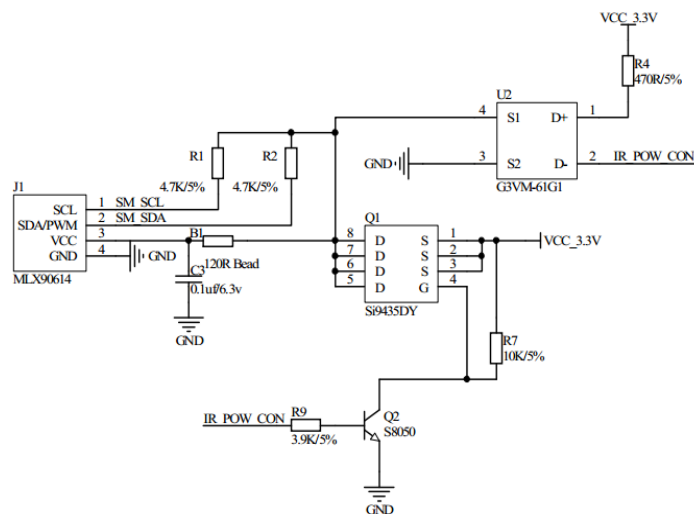


图2 温度传感器电路

Fig.2 Temperature sensor circuit

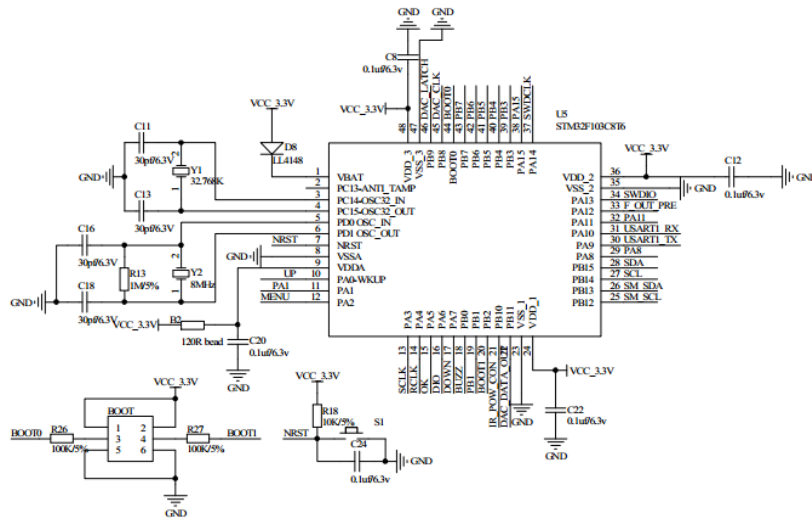


图 3 处理器电路

Fig.3 Processor circuit

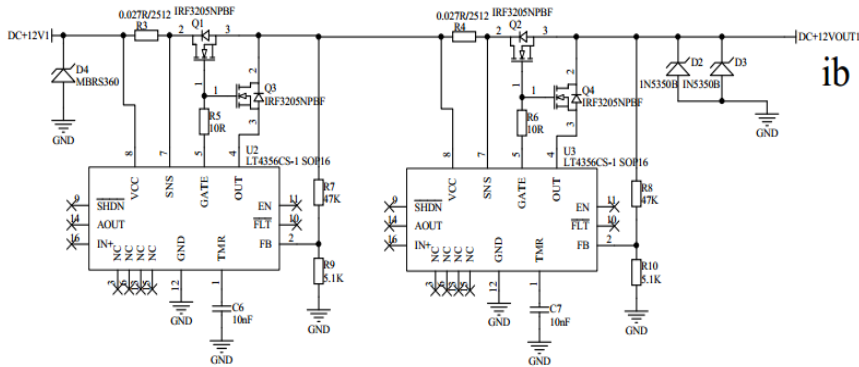


图 4 本质安全型电源电路

Fig.4 Intrinsically safe power circuit

2.4 频率量转换电路设计

频率量转换是在核心处理器中完成的，外围驱动电路采用飞利浦公司的 HEF4093BT，该芯片采用 CMOS 工艺，输出高低电平接近电源电压或地电位，对于外部接口电路来说，兼容性更好；每个输入引脚内部内置一个施密特触发器，输入信号的抗干扰能力更强。电路图如图 5 所示。

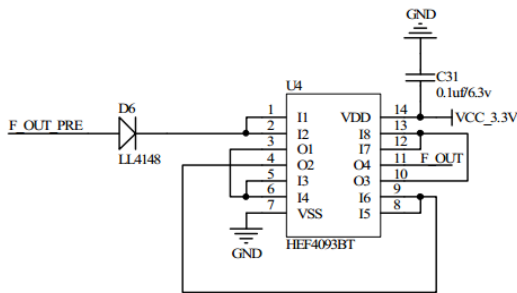


图 5 频率量转换电路

Fig.5 Frequency conversion circuit

2.5 4~20 mA 转换电路设计

4~20 mA 转换电路采用 ADI 公司的 AD421，该芯片将接收到的数字信号转换成模拟信号<sup>[8]</sup>，并完成

模拟信号到 4~20 mA 电流环信号的转换。电路图如图 6 所示。

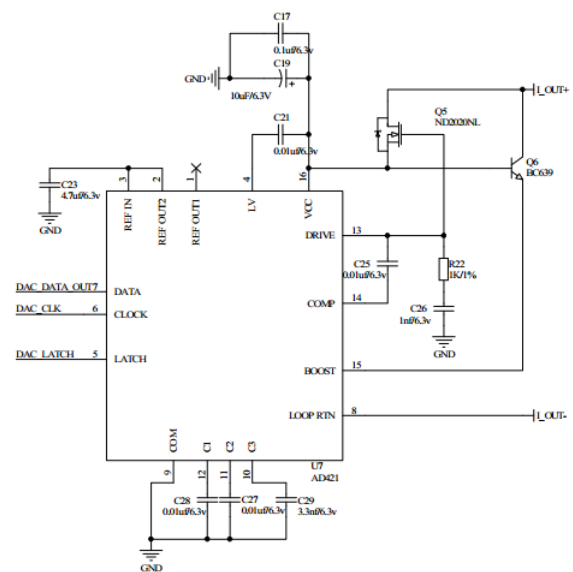


图 6 4~20 mA 转换电路

Fig.6 4-20 mA conversion circuit

### 2.6 数码管显示电路设计

数码管显示电路选用4位数码管显示3位数字和1位符号位，驱动芯片采用2片74HC595串联，该电路具有成本低廉，易于驱动的特点。

### 2.7 报警电路设计

报警电路将来自核心处理器的报警信号通过达林顿管放大输出驱动蜂鸣器。

### 2.8 激光定位电路设计

激光定位电路采用3V激光二极管，主要作用在于指示被测位置，因此设计将激光二极管光线与温度传感器方向尽量靠近且平行。

### 2.9 按键及指示灯电路设计

按键电路用于设置发射率、高低温报警阈值等参数，指示灯电路用于指示正在设置哪个参数。

### 2.10 数据存储电路设计

数据存储电路用于存储高低温报警阈值，发射率等信息，采用AT24C02，驱动简单，成本低廉。

### 2.11 串口通信电路设计

串口通信电路主要用于调试及后期维护，选用MAX3232，电路简单，成本低廉。

### 2.12 程序下载电路设计

程序下载电路设计为SWD接口，四线下载，节省电路板空间。

### 2.13 供电电路设计

系统供电电路选用MPS公司的MP2259，开关频率1.4MHz，输出电流1A，采用SOT23-5封装，体积小，并且由于工作频率较高，输出纹波小，外部电感和电容的体积也较小，节省了电路板空间。

## 3 红外测温仪软件设计

测温仪软件设计是在Keil 5.14开发平台上进行的，使用语言为C语言。系统软件整体设计思路是这样的：主程序采用自顶向下设计方法，首先完成各个模块初始化及中断初始化，然后循环执行温度传感器MLX90614读出程序和设置发射率及高低温报警阈值程序，而各个模块子程序是通过中断方式得到执行。图7表示了主程序的设计流程：程序一开始进行中断初始化和各模块初始化，接着进入循环，在循环中依次执行读出高低温报警阈值和温度报警值，计算要显示的温度数据、要输出的频率量及电流值数据，最后调用按键扫描子程序。在程序执行的过程中，如果有按键按下，则进入按键中断服务程序进行处理。

### 3.1 温度传感器数据采集模块设计

由于温度传感器MLX90614通信接口为SMBUS，所以首先设计SMBUS底层驱动程序，然后根据

MLX90614数据手册时序图设计顶层程序，主要分为4个函数：MLX90614初始化函数，MLX90614读函数，MLX90614写函数，MLX90614数据转换函数。

### 3.2 数码管显示模块设计

由于数码管驱动采用2片74HC595串联，所以驱动数码管也就是驱动74HC595。74HC595为数据移位寄存器，串行输入，并行输出。程序分为3个子程序：数码管驱动I/O初始化函数，595输入函数，595输出函数。

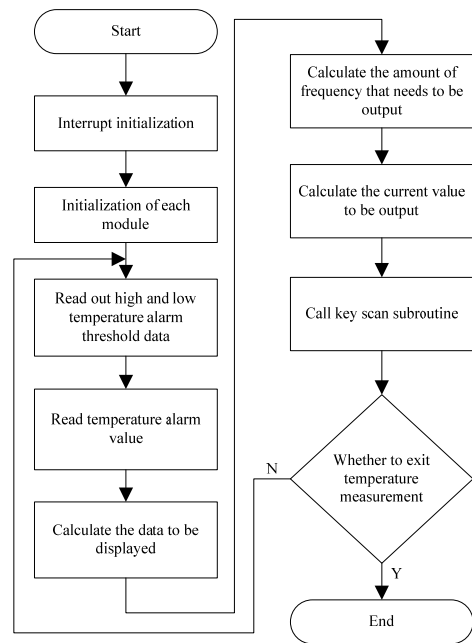


图7 主程序流程图

Fig.7 Main program flow chart

### 3.3 按键输入模块设计

按键扫描子程序采用有限状态机方法实现，分为没有任何按键按下状态、按键按下确认状态、按键短按下状态、按键长按下状态，其状态转换如图8所示。

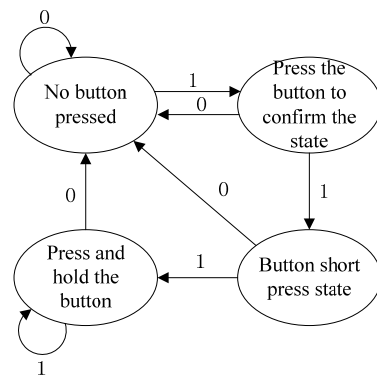


图8 状态转换图

Fig.8 State transition diagram

### 3.4 数据存储模块设计

数据存储子程序分为IIC底层驱动和芯片驱动。

底层驱动包括 IIC 初始化、产生起始信号、产生停止信号、等待应答信号、产生应答信号、产生非应答信号、发送一个字节、接收一个字节等几个函数。芯片驱动包括：芯片初始化、芯片检测、读出一个字节、写入一个字节、读出  $N$  个字节、写入  $N$  个字节、从指定地址读出指定的字节数、写入到指定地址指定的字节数等几个函数。

### 3.5 串口通讯模块设计

串口通讯子程序包括串口初始化、串口发送和串口接收 3 个子程序。

### 3.6 频率转换模块设计

由于读出的温度数据为数字量，所以设计公式将数字量转换成频率量，其公式如下：

$$f=2*\{[(DATA*2)-27315]/100\}+240 \quad (1)$$

式中： $f$  为频率， $DATA$  为 16 位温度数值。

### 3.7 4~20 mA 转换模块设计

想要将温度数据转换成 4~20 mA 的电流信号，首先应该将温度传感器采集到的数值转换成 AD421 输入范围内的数值，设计的公式如下所示，然后只需按照 AD421 的数据手册写出驱动程序即可，共有 3 个信号需要驱动：时钟、锁存、数据，程序比较简单，不再详述。

$$dac\_input\_data=3.27675*DATA-41474 \quad (2)$$

其中  $dac\_input\_data$  为 AD421 输入数值， $DATA$  为温度传感器采集到的数值。

### 3.8 定时器模块设计

考虑到各个模块实时响应的需求，主程序采用中断的方式，因而需要定时器来调度。本设计用到了 3 个定时器：定时器 2、定时器 3 和定时器 4。定时器 2 负责周期性调用显示子程序、定时器 3 负责周期性调用报警子程序，定时器 4 负责周期性调用按键子程序。优先级顺序为：定时器 2>定时器 3>定时器 4。

## 4 实验结果及分析

通过对测温仪的实验与调试，分别测试各模块的功能实现情况。利用示波器及 Keil 5 开发平台自带的逻辑分析仪进行分析，各模块均可实现相应的功能。

### 4.1 温度传感器数据采集模块验证

首先发送 SLA 地址，然后判断接收到的应答信息，如果应答为非应答信号，则发送停止位，并转到程序起始处重新执行，否则继续向下执行。判断流程同上。接着发送 SLA+1，判断流程同上。接下来按顺序读取数据低字节和高字节，并存入预先定义好的缓冲区寄存器。再接下来读取 PEC 码（PEC 码为一种 CRC-8 校验码），并根据多项式  $X^8+X^2+X+1$ ，

计算出结果，与读取到的 PEC 码进行比较。如果相同，则表示读到的数据正确，否则错误，丢弃数据，并返回程序起始位置重新读取数据。示波器采集到的时序波形如图 9 示。煤矿井下输送带宽度一般为 0.8~2.4 m 之间，测温仪与被测物体之间的安装示意图如图 10 所示，可以看到，温度传感器安装在距离电机 3 m 处，就可以使测温仪的目标视场内全部为被测电机，从而保证了测温的准确性。需要注意的是，煤矿井下电机的材质一般为铸铁，发射率在 0.6~0.95 之间，需要设置正确的发射率，才能保证测温的准确度。测量到的煤矿井下带式输送机电机温度与实际电机温度对比如图 11 所示。

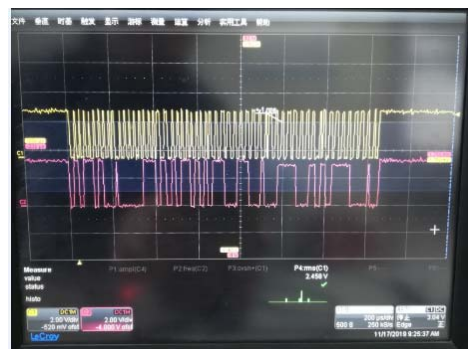


图 9 示波器采集的温度传感器数据采集模块时序信号  
Fig.9 Time sequence signal of temperature sensor data acquisition module collected by oscilloscope

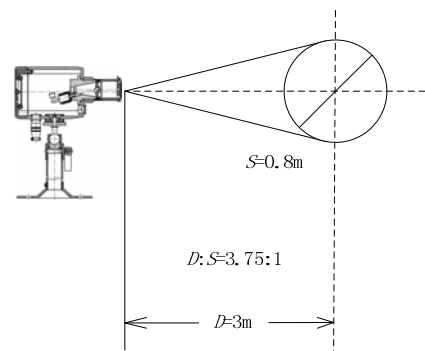


图 10 测温仪与被测物体之间的安装示意图

Fig.10 Installation diagram between the thermometer and the object to be measured

### 4.2 频率量转换模块验证

频率量转换模块将  $-20^{\circ}\text{C}\sim 380^{\circ}\text{C}$  的温度值转换成  $200\sim 1000\text{ Hz}$  的标准频率量信号输出，图 12 展示了温度值、理论上频率量输出值、实测频率量输出值对应关系。

### 4.3 4~20 mA 转换模块验证

4~20 mA 转换模块将  $-20^{\circ}\text{C}\sim 380^{\circ}\text{C}$  的温度值转换成 4~20 mA 标准电流环信号输出，十六进制温度值与输出电流环信号对比在 AD421 数据手册中可以



查到,如图 13(a)所示。实际测得的温度值与 4~20 mA 电流输出如图 13(b)所示。

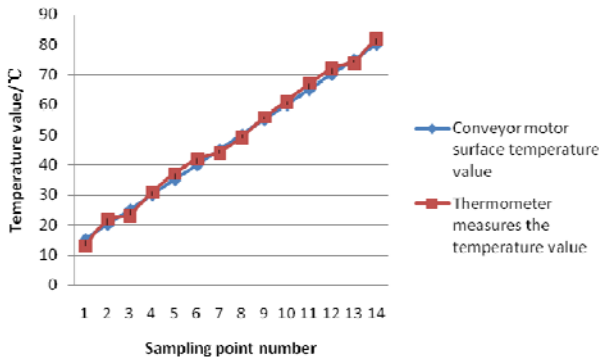


图 11 测温仪测量温度与电机表面实际温度对比

Fig.11 The temperature measured by the thermometer is compared with the actual temperature of the motor surface

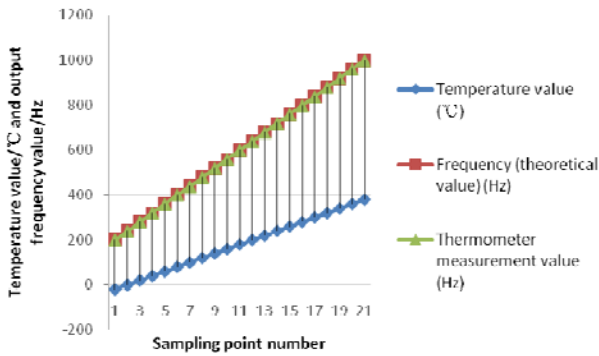


图 12 频率量输出值与温度值对应关系

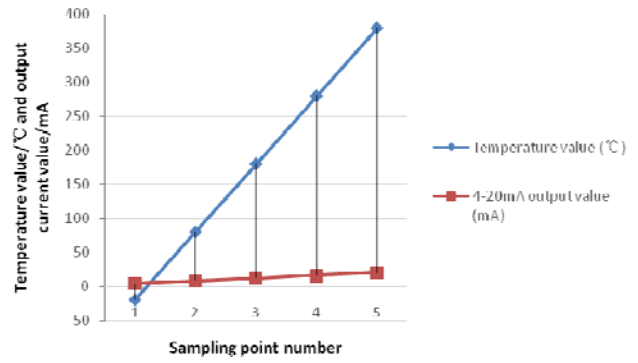
Fig.12 Correspondence between frequency output values and temperature values

Table II. Ideal Input/Output Code Table for 4 mA to 20 mA Operation

Code	Output Current
0000 0000 0000 0000	4 mA
0000 0000 0000 0001	4.000244 mA
0000 0000 0000 0010	4.000488 mA
0100 0000 0000 0000	8 mA
1000 0000 0000 0000	12 mA
1100 0000 0000 0000	16 mA
1111 1111 1111 1101	19.999268 mA
1111 1111 1111 1110	19.999512 mA
1111 1111 1111 1111	19.999756 mA

(a) 十六进制温度值与输出电流环路信号的比较

(a) Comparison of hexadecimal temperature value and output current loop signal



(b) 实测温度值和 4~20 mA 电流输出曲线

(b) Measured temperature value and 4-20 mA current output curve

图 13 温度值与 4~20 mA 电流输出对比

Fig.13 Comparison of temperature value with 4-20 mA current output

#### 4.4 报警模块验证

报警模块在温度低于低温报警阈值,或者温度高于高温报警阈值时报警<sup>[10]</sup>,其报警信号为周期 4 s 的方波,示波器采集到的报警信号波形如图 14 所示。

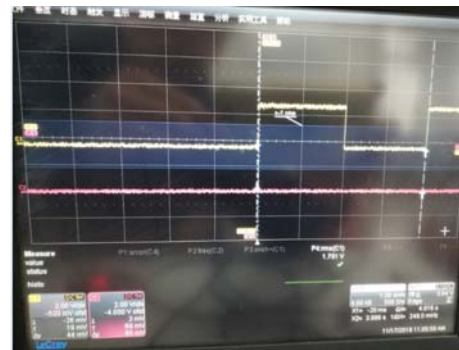


图 14 示波器采集到的报警信号

Fig.14 Alarm signal collected by oscilloscope

#### 4.5 按键设置模块验证

按键设置模块实现发射率的设置以及高低温报警阈值的设置。可以在任何时候按下 MENU 键,然后根据实际情况按下 UP 或 DOWN 键,依次设置低温报警阈值、高温报警阈值、发射率,每次设置完按 OK 键退出。程序可以实现长按 UP/DOWN 键快速调整数值功能。3 个参数都设置完成后自动进行测温。实验结果如图 15 所示。

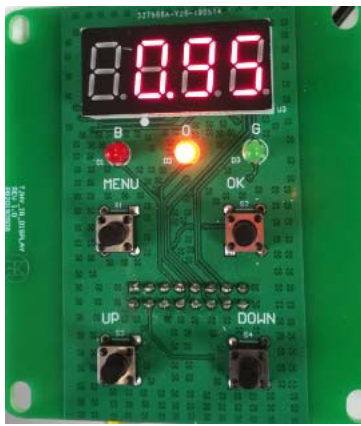


图15 按键设置参数实验结果

Fig.15 Key to set parameters experimental results

## 5 结束语

本文研制的本质安全型红外测温仪采用 MLX90614 红外传感器和 STM32F103C8T6 处理器设计了其硬件；在 Keil 5.14 开发平台上，采用 C 语言设计了其软件，能够将测量温度显示在高亮度数码管上，并以频率量和 4~20 mA 电流信号输出。该测温仪外壳与 MLX90614 之间放置一层隔热棉，以保证 MLX90614 感温准确，MLX90614 辐射角度为 10°，覆盖物体面积更小，使测温准确度得到了保证，测温范围宽 -20℃~380℃，分辨率高，测温准确，温度测量精度为 ±0.5℃；非接触测量，不易损坏，可靠性高。

## 参考文献：

[1] 刘晓雪, 苗长云, 刘意, 等. 基于以太网的带式输送机监控系统的监控终端的研究[J]. 仪表技术与传感器, 2018(11): 63-67.  
LIU Xiaoxue, MIAO Changyun, LIU Yi, et al. Research on monitoring terminal of belt conveyor monitoring system based on Ethernet[J]. *Instrument Technology and Sensor*, 2018(11): 63-67.

[2] 卢新明, 梁永全, 祁和刚, 等. 智慧矿山信息系统通用技术规范: GB/T 34679-2017 [S]. 北京: 全国信息技术标准化技术委员会, 2018.  
LU Xinming, LIANG Yongquan, QI Hegang, et al. Smart Mine Information System General Technical Specifications: GB/T 34679-2017 [S]. Beijing: National Information Technology Standardization Technical Committee 2018.

[3] 陈创, 徐恺, 王颖涛, 等. 基于 MLX90614 的非接触式母线温度在线监测系统[J]. 现代电子技术, 2015, 38(12): 105-109.

CHEN Chuang, XU Kai, WANG Yingtao, et al. Non-contact bus temperature online monitoring system based on MLX90614[J]. *Modern Electronic Technology*, 2015, 38(12): 105-109.

[4] 郝旭欢, 常博, 郝旭丽. 基于 TN9 红外温度传感器的红外测温仪设计[J]. 中文信息, 2016(7): 280-280, 376.  
HAO Xuhuan, CHANG Bo, HAO Xuli. Design of infrared thermometer based on TN9 infrared temperature sensor[J]. *Chinese Information*, 2016(7): 280-280, 376.

[5] 王庆春, 余园梯, 蒋伟妮, 等. 基于 FPGA 的红外测温仪的设计[J]. 电子测量技术, 2018, 41(2): 105-109.  
WANG Qingchun, YU Yuanti, JIANG Weini, et al. Design of infrared thermometer based on FPGA[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2018, 41(2): 105-109.

[6] 王军, 李书朝, 陈在学, 等. 爆炸性环境第 1 部分: 设备通用要求: GB 3836.1-2010[S].  
WANG Jun, LI Shuchao, CHEN Zaixue, et al. Explosive Atmosphere Part 1: Equipment General Requirements: GB 3836.1-2010[S]. Beijing: National Technical Committee of explosion proof electrical equipment standardization, 2018.

[7] 张刚, 徐建平, 付淑玲, 等. 爆炸性环境第 4 部分: 由本质安全型“i”保护的的设备: GB 3836.4-2010[S]. 北京: 全国防爆电气设备标准化技术委员会, 2011.  
ZHANG Gang, XU Jianping, FU Shuling, et al. Explosive environment Part 4: Equipment protected by intrinsically safe “i”: GB 3836.4-2010[S]. Beijing: National Technical Committee of explosion proof electrical equipment standardization, 2011.

[8] 陈平, 陈彦. 基于蓝牙技术的温度数据采集系统[J]. 仪表技术与传感器, 2005(11): 40-42.  
CHEN Ping, CHEN Yan. Temperature data acquisition system based on bluetooth technology[J]. *Instrument Technology and Sensor*, 2005(11): 40-42.

[9] 金辉, 王晓岚, 孙健. 红外测温仪测量准确度的影响因素分析及修正方法[J]. 上海计量测试, 2019(5): 34-38.  
JIN Hui, WANG Xiaolan, SUN Jian. Analysis of influencing factors and correction methods of infrared thermometer measurement accuracy[J]. *Shanghai Metrology and Testing*, 2019(5): 34-38.

[10] 任子晖, 谷林柱, 米兰, 等. 矿用非接触式红外测温仪[J]. 仪表技术与传感器, 2011(7): 24-25, 46.  
REN Zihui, GU Linzhu, MI Lan, et al. Non-contact infrared thermometer for mining[J]. *Instrument Technology and Sensor*, 2011(7): 24-25, 46