

# 基于 STM32 的矿用巷道多功能监测系统

邓弘哲<sup>1,3</sup>, 李青锋<sup>1,2,3\*</sup>, 唐佩<sup>1,3</sup>, 杨佳楠<sup>1,3</sup>, 罗琦<sup>1,3</sup>

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 矿业工程研究院, 湖南 湘潭 411201;

3. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 在地下矿山开采过程中, 巷道围岩结构变化具有显著的非线性特征, 易引发较大的煤岩动力灾害. 现有的巷道监测技术基于单一物理量的数据采集, 缺乏多物理量的联合监测与分析, 无法准确判断巷道围岩变形状态以及巷道内的环境. 为了解决上述问题, 设计了基于 STM32 的矿用巷道多功能监测系统, 监测锚杆所受的轴向力、巷道断面位移、巷道内温湿度和巷道内的 PM2.5 值. 从数据感知、采集、传输等方面分析矿井巷道内的情况, 并且及时做出预警, 防范安全问题的发生.

**关键词:** 煤岩动力灾害; 联合监测; STM32

**中图分类号:** TD353

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-9102(2019)04-0022-07

## Multifunctional Monitoring System of Mine Roadway Based on STM32

Deng Hongzhe<sup>1,3</sup>, Li Qingfeng<sup>1,2,3</sup>, Tang Pei<sup>1,3</sup>, Yang Jianan<sup>1,3</sup>, Luo Qi<sup>1,3</sup>

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Institute of Mineral Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In the process of underground mining, the structural change of roadway surrounding rock has significant nonlinear characteristics, which is easy to cause large dynamic disasters of coal and rock. The existing roadway monitoring technology is based on the data collection of a single physical quantity and lacks the joint monitoring and analysis of multiple physical quantities, so it is impossible to accurately judge the deformation state of roadway surrounding rock and the environment inside the roadway. In order to solve the above problems, a multi-functional monitoring system of mine roadway based on STM32 is designed to monitor the axial force, roadway section displacement, temperature and humidity in the roadway and PM2.5 in the roadway. It also analyzes the situation inside the mine roadway from the aspects of data perception, collection and transmission, and makes early warning in time to prevent the occurrence of safety problems.

**Keywords:** coal or rock dynamic disaster; joint monitoring; STM32

随着时代的发展, 煤炭产业逐渐向自动化、智能化转型, 智慧矿山已成为时代发展的必然趋势. 采掘深度的增加, 地质条件变得越来越复杂, 尤其是受到高应力作用, 巷道围岩变形问题日趋严重, 大变形直接影响了生产安全和经济效益. 矿井内的温度、湿度以及粉尘浓度也直接危害着矿内工作人员的健康. 煤

收稿日期: 2019-08-25

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2018JJ2130)

\* 通信作者, E-mail: liqingfeng0712@163.com

炭粉尘是煤矿生产中的主要灾害之一,主要来源于煤矿生产过程中,在采煤、掘进、爆破、运输、提升等工作中都会产生粉尘,一般情况下,结构疏松,水分较低,坚硬的煤体产尘较多。

目前,巷道的监测内容主要包括两个方面:一是巷道围岩位移量监测;二是支护构件受力监测<sup>[1,2]</sup>。其中,巷道围岩位移监测包括围岩表面位移监测和深部位移监测,前者是巷道稳定性的评价依据之一,后者反映围岩深部位移情况<sup>[3-6]</sup>。

鲁忠良等设计了一种矿井巷道断面瞬时监测系统,提出了一种基于 PLC 和 Zigbee 网络的矿井巷道断面瞬时监测系统的设计方案<sup>[7]</sup>。梁敏富等设计了一种新型的温度补偿压力传感器,改善了现有光纤光栅压力传感器应变—温度交叉敏感的问题<sup>[8]</sup>。徐乐年等设计了一种基于激光传感器的巷道变形动态监测系统,采用相位式激光测距传感器对副斜井出现的顶板下沉、局部变形、两帮移近等情况进行在线实时监测<sup>[9]</sup>。杨晓庆设计了一种深部巷道围岩稳定性监测系统<sup>[10]</sup>。邵凤莹等设计了一种矿用锚杆应力监测系统,通过对普通锚杆进行改造,使其可对岩层应力进行采集<sup>[11]</sup>。

但上述的几种设计中,都存在着数据采集较为麻烦,精确度不够,且测量点单一等问题。针对以上情况,设计了一种基于 STM32 的矿用巷道多功能监测系统,该监测系统实现多功能监测,分别监测巷道断面锚杆所受的轴向力、巷道内的温度以及湿度、巷道断面的位移和 PM2.5。

## 1 监测系统硬件设计

锚杆轴向力变化以及巷道断面位移的变化反映了围岩压力的变化,当上述两个物理量增大到某个阈值时,巷道围岩会产生变形,锚杆支护可能会失效,所以,可由锚杆轴向力的变化趋势以及巷道断面位移的变化趋势来判断锚杆支护是否失效、巷道断面是否变形过大,达到预警、防止安全事故发生的目的。

### 1.1 数据采集端硬件设计

基于 STM32 的矿用巷道多功能监测系统的数据采集端,主要由 STM32F103ZET6、压力检测模块、超声波测距模块、温湿度监测模块、PM2.5 监测模块、显示模块、数据传输模块、电源模块组成。数据采集端硬件框图如图 1 所示。

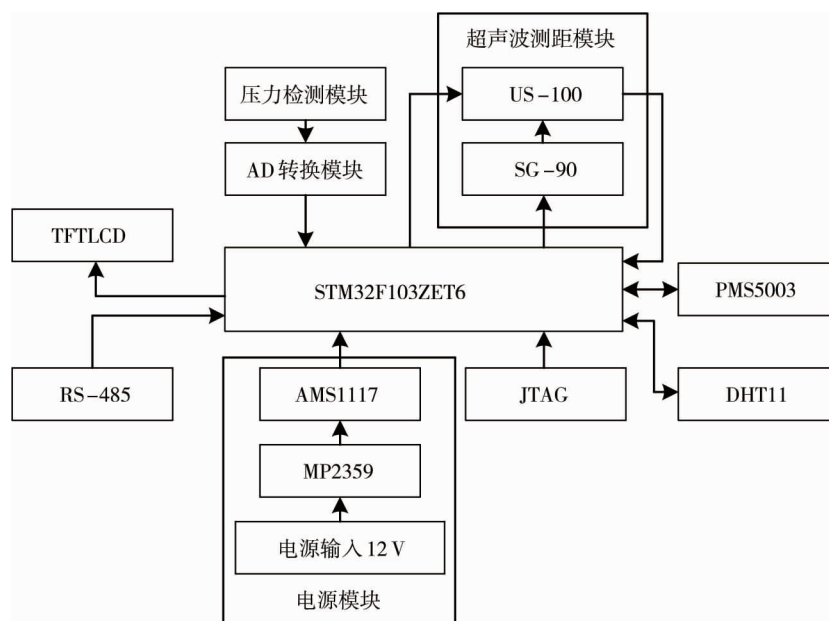


图 1 数据采集端硬件框图

STM32F103ZET6 芯片是整个系统的核心<sup>[12-14]</sup>,主要用于控制传感器模块的数据采集、数据传输模块的传输与接收、LCD 的显示以及数据采集完成以后对数据的后续处理。

压力检测模块通过压力变送器采集锚杆轴向力的数据,采集到的数据为模拟量,而MCU无法直接处理模拟量,所以需要通过AD转换电路转为数字量.锚杆轴向力的数据通过滤波电路以后传输到AD转换电路.AD转换电路使用的芯片是16位AD芯片AD7606,它可以同时进行8个通道的同步采样,在本系统中只使用了其中的4个通道.

超声波测距模块包括带有温度补偿的超声波位移传感器US-100和模拟舵机SG90.温湿度监测模块使用的是DHT11温湿度传感器.

PM2.5监测模块使用的是PMS5003传感器,可以检测PM1,PM2.5,PM10的值.PMS5003传感器采用激光散射原理.即令激光照射在空气中的悬浮颗粒物上产生散射,同时在某一特定角度收集散射光,得到散射光强随时间变化的曲线.进而微处理器利用基于米氏(MIE)理论的算法,得出颗粒物的等效粒径及单位体积内不同粒径的颗粒物数量.

电源模块中,输入电压为12V,通过MP2359芯片输出5V电压,然后再通过AMS1117输出3.3V电压,为系统内各个模块供电.

传输模块使用的是RS-485总线,采用平衡发送和差分接收方式实现通信,有极强的抗共模干扰的能力.

数据采集端使用的是2.8寸TFTLCD屏,用于显示采集到的数据.

## 1.2 数据接收端硬件设计

基于STM32的矿用巷道多功能监测系统的数据接收端由STM32F103ZET6,SD卡存储模块、数据传输模块、电源模块组成.数据接收端硬件框图如图2所示.

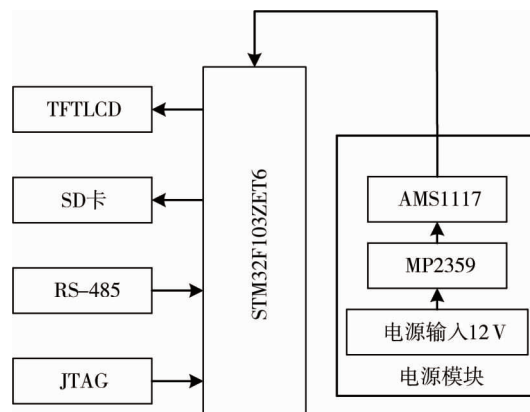


图2 数据接收端硬件框图

数据接收端使用SD卡存储接收到的数据,需用到STM32F103ZET6的SDIO接口来控制SD卡的数据读写.

数据接收端使用的是3.5寸的TFTLCD屏,其余模块与数据接收端一致.

## 2 监测系统软件设计

### 2.1 数据采集端软件设计

数据采集端软件主要由主程序、AD转换子程序、传感器数据采集子程序、数据采集端传输模块子程序组成.

#### 2.1.1 AD转换模块子程序设计

AD转换模块主要用于将压力监测模块采集到的模拟量转换成数字量数据,然后再传输给微控制器进行处理<sup>[15]</sup>.

AD7606 没有内部寄存器,量程范围和过采样参数是通过外部 IO 控制的.采样速率由 MCU 提供脉冲频率控制.CVA,CVB:启动 AD 转换的控制信号.CVA 决定 1~4 通道,CVB 决定 5~8 通道.本监测系统只使用了 4 个通道.

软件定时采集的实现方案,在定时器中断服务程序中实现:

定时器中断 ISR:

{ 中断入口;

读取 8 个通道的采样结果保存到 RAM;

启动下次 ADC 采集;(翻转 CVA 和 CVB)

中断返回;}

定时器的频率就是 ADC 采样频率.这种模式可以不连接 BUSY 线.(在我们的系统中,为了保证系统稳定,BUSY 口采用实时查询以确保稳定).

AD7606 上的采样保持放大器可使 ADC 以 16 位分辨率精确采集满量程幅值的输入正弦波.采样保持放大器在引脚 CONVST x 上升沿时对其各自输入进行同步采样.每个器件的采样保持放大器的孔径时间(即 CONVST x 外部信号从上升沿到采样保持放大器进入保持模式的延迟时间)通过计算保证各个采样保持放大器严格匹配.当 BUSY 引脚从高电平变为低电平时,所有通道的转换都已结束,采样保持放大器回到跟踪模式,下一次 AD 转换开始进行计时.

转换采用内部时钟,AD7606 所有通道的转换时间为 4  $\mu$ s.在 AD7606 上,8 个通道均完成转换后,BUSY 信号恢复低电平,表示转换过程结束.在 BUSY 下降延时,采样保持放大器返回跟踪模式.BUSY 变为低电平后,可以通过并行、并行字节或串行接口从输出寄存器中读取新数据.或者,当 BUSY 为高电平时,可以读取前一次转换的数据.

### 2.1.2 传感器数据采集模块子程序设计

传感器数据采集模块由 4 个部分组成,分别为压力检测模块、超声波测距模块、温湿度监测模块、PM2.5 模块.

压力检测模块包括压力变送器,压力变送器依据传感器内部电阻应变片的压阻效应,压力变送器的原理是,依靠内部的测量膜片和两侧绝缘片上的电极相互作用,当两侧绝缘片所受的压力不同时,测量膜片会产生一个位移,位移量和所受的压力成正比,所以两侧电极的电容量就不相等,通过振荡和解调环节统一输出直流电信号.锚杆受到压力后会产生应变,相应的应变片也会产生一定的变形导致其电阻值改变,然后输出的直流电信号会产生变化.

采集到直流电信号后,将该信号传输至 AD 转换模块进行转换.AD7606 输出的数据需要进行转换才能得到压力值,转换公式如下:

$$I = adc \times 10 \div 32767 \times 1000 \div 150;$$

$$F = (I - 4) \times 1.5625.$$

式中:  $a, b, c$  为 AD7607 所输出的数据;  $I$  为电流值;  $F$  为压力.

超声波测距模块包括 US-100 传感器和模拟舵机 SG90,US-100 超声波测距模块用于测量巷道断面的位移,模拟舵机 SG90 用于将 US-100 旋转至不同的角度测量.US-100 有两种工作模式,本监测系统使用的是电平触发模式,通过 TRIG 引脚和 ECHO 引脚来控制 US-100(TRIG 引脚用于控制 US-100 发射超声波脉冲,ECHO 引脚用于向 MCU 输出高电平).STM32F103ZET6 给将 TRIG 引脚拉高,至少保持 10  $\mu$ s,随之 US-100 会发出 8 个 40 KHz 的超声波脉冲,然后开始检测返回的信号.当收到返回的信号时,US-100 会自动进行温度的测量,然后校正测距结果,最后将测距结果从 ECHO 引脚输出.

配置 STM32F103ZET6 的定时器输入捕获,捕获 ECHO 引脚返回高电平的时间,即可得到所测距离.对

于SG90,需要持续给它一个PWM信号,用于使SG90旋转至目的角度.PWM信号的控制要求为:频率50 Hz,周期为20 ms,根据不同的脉冲宽度(占空比)舵机会指定转到不同的角度.

温湿度监测模块使用的是DHT11数字温湿度传感器,DHT11传感器包括一个电阻式感湿元件和一个NTC测温元件,通过这两个元件来进行温湿度的测量.STM32F103ZET6给DHT11发送一次开始信号,使DHT11进入高速模式,DHT11发送响应信号,送出40 bit的数据,并触发一次信号采集,信号采集数据完成后DHT11进入低功耗模式.

PM2.5监测模块使用的是数字式通用颗粒物浓度传感器PMS5003,数据通过UART串口直接输出,使用时需根据传输协议将数据解码.

### 2.1.3 数据采集端传输模块子程序设计

传输模块通过RS-485总线将数据传输给数据接收端,由于传输的数据为多物理量,需要接收端能在接收时分辨出不同的物理量,所以在程序设计时,为每个不同的物理量前加上校验码,由接收端对校验码进行判断.

### 2.1.4 数据采集端主程序设计

数据采集端主程序流程图如图3所示.

数据采集端首先初始化各个模块,然后先进行温湿度的采集,随后是锚杆轴向力的采集、PM2.5数据的采集,最后是巷道断面位移数据的采集.锚杆轴向力的数据需要经过AD转换才能传入MCU.然后将所有数据在TFTLCD上显示.在数据发送之前在每一类数据前加一个校验码,用来让接收端判断接收到的数据是哪一类,然后用RS-485总线发送数据.

## 2.2 数据接收端软件设计

数据接收端软件主要由主程序、SD卡模块子程序、数据接收端传输模块子程序组成.

### 2.2.1 SD卡模块子程序设计

SD卡模块用于存储传输模块接收到的数据,以便于之后对于数据的处理以及分析.SD卡模块子程序流程图如图4所示.

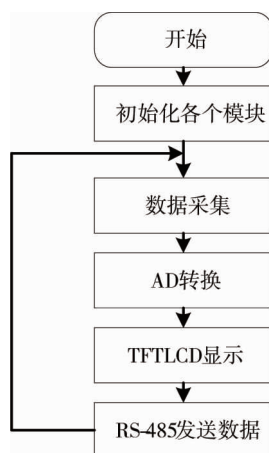


图3 数据采集端主程序流程图

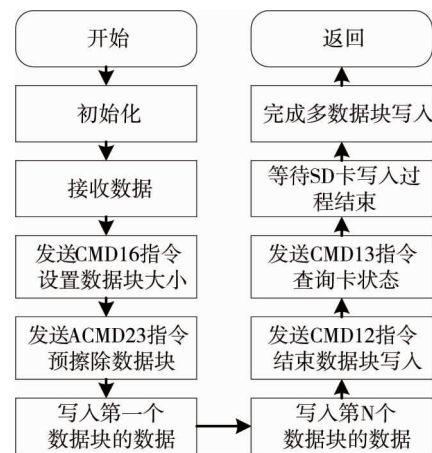


图4 SD卡模块子程序流程图

### 2.2.2 数据接收端传输模块子程序设计

由于数据采集端的数据采集速率极高,短时间内就能产生大量的数据,但是由于锚杆轴向力数据、巷道断面位移数据并不是时刻都在发生改变,或者改变的量很小,这样会极大程度的浪费系统的存储空间.所以为了降低数据的冗余,可以忽略掉这部分数据.所使用的方法是,每次采集数据后将数据与之前一次采集的数据进行对比,若数据无变化或者数据变化量在一个极小的误差范围内,便将此次数据舍去,不将其存入SD卡.数据接收端传输模块子程序流程图如图5所示.



### 2.2.3 数据接收端主程序设计

数据接收端主程序流程如图6所示。

数据接收端首先要初始化各个模块,然后接收数据,验证先导码,判断是何种数据,然后将数据进行优化处理,减少冗余信息存储,减轻系统负荷,然后将优化后的数据存入SD卡中,并显示在LCD上。

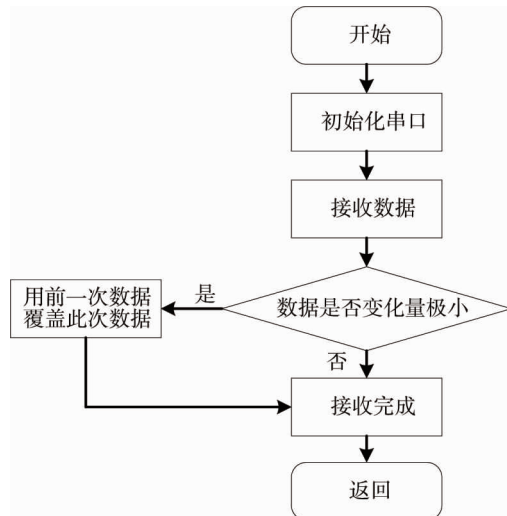


图5 数据接收端传输模块子程序流程图

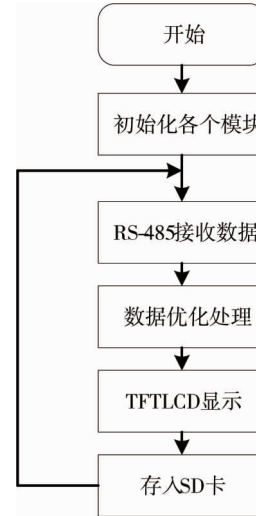


图6 数据接收端主程序流程图

## 3 设备测试

通过使用岩石力学实验系统RMT对设备进行加压测试(见图7,图8),并且采集实验室内PM2.5以及温湿度数据,数据采集精确且响应灵敏度高.数据采集端可以将数据稳定准确的传输到数据接收端,未有任何数据发生误码,传输精确性高.

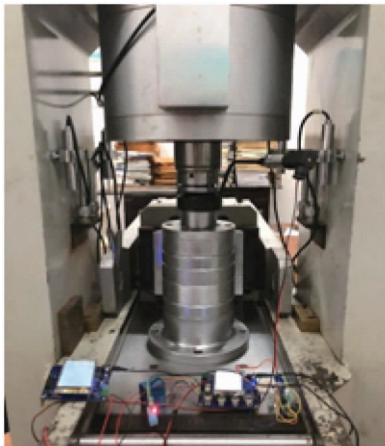


图7 RMT 加压测试

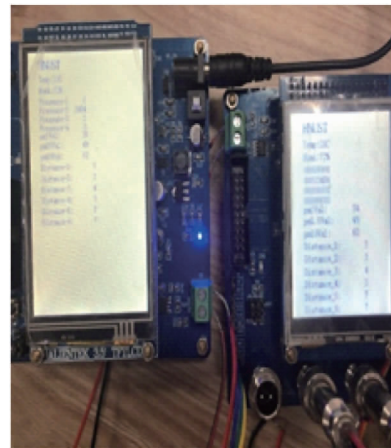


图8 数据传输测试

## 4 结语

1)使用STM32F103ZET6芯片控制各个功能模块实现对锚杆轴向力、巷道断面位移、温湿度、PM2.5数据的监测、处理、显示、传输以及存储。

2)将大量数据通过数据优化,减少数据冗余,去除无用数据后存入SD卡内,既节省了系统存储空间也便于后续对于数据的分析。

3)该监测系统成本低,操作简单,数据采集准确、传输稳定可靠,在矿井巷道的应用中有很大的优势。

**参考文献:**

- [1] 周国荣,何忠全,李青锋,等.大断面巷道裂隙围岩级式立体支护技术[J].矿业工程研究,2018,33(4):17-21.
- [2] 王平,冯涛,朱永建.深井煤巷锚杆支护失效的模糊故障树分析[J].矿业工程研究,2017,32(3):32-38.
- [3] 王卫军,董恩远,袁超,等.深部大变形巷道锚杆支护理论与技术研究进展[J].矿业工程研究,2017,32(2):1-10.
- [4] 侯定贵,杨晓杰,王嘉敏.巷道围岩失稳监测技术及应用[J].采矿与安全工程学报,2019,36(1):122-130.
- [5] 宫伟力,张自翔,高霞,等.激光位移监测恒阻大变形锚杆 SHTB 试验研究[J].岩石力学与工程学报,2018,37(S2):3926-3937.
- [6] 王国立,贾后省,鱼琪伟,等.基于锚杆(索)支护力监测的巷道冒顶隐患预警技术[J].煤炭科学技术,2016,44(7):153-157.
- [7] 徐乐年,高一晨,雷龙飞,等.基于激光传感器的巷道变形动态监测系统[J].煤炭技术,2018,37(11):1-3.
- [8] 梁敏富,方新秋,柏桦林,等.温补型光纤 Bragg 光栅压力传感器在锚杆支护质量监测中的应用[J].煤炭学报,2017,42(11):2826-2833.
- [9] 邵凤莹,程永强.矿用锚杆应力监测系统的设计[J].煤炭技术,2017,36(6):266-268.
- [10] 杨晓庆.深部巷道围岩稳定性监测系统[J].煤矿安全,2016,47(3):101-103.
- [11] 鲁忠良,付腾,傅同.一种矿井巷道断面瞬时监测系统[J].工矿自动化,2015,41(1):80-84.
- [12] 陈启军,余有灵,张伟,等.嵌入式系统及其应用—基于 Cortex-M3 内核和 STM32F103 系列微控制器的系统设计与开发[M].上海:同济大学出版社,2011.
- [13] 刘凯,周志光,张明,等.ARM 嵌入式应用技术基础[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [14] 符晓天.隧道变形的监测仪开发与预测模型研究[D].西安:西安理工大学,2018.
- [15] 李驰,丛培田,段智敏,等.基于自适应采样频率与 AD7606 的振动信号采集方法[J].仪表技术与传感器,2017(7):116-120.