

# 基于 CAN 总线冗余结构的矿下智能语音系统设计

陈新星<sup>1</sup>, 娄柯<sup>1</sup>, 高子朗<sup>2</sup>

(1. 安徽工程大学检测技术与节能装置安徽省重点实验室, 安徽 芜湖 241000; 2. 芜湖荟萃中学, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:**为了满足矿下恶劣环境中智能语音通信系统高可靠性的需求,提出将冗余结构思想应用到 CAN 总线智能语音通信系统。系统在平行双 CAN 总线为干线前提下,各级节点均以双 CAN 总线进行通信。节点以 STM32 微处理器和 AMBE-2000 芯片为核心,语音信号经过 AMBE 编码后由 CAN 总线传送到系统各节点,同时传感器采集井下参数也经 CAN 总线传送至地面主站,实现地面主站与井下分站及分站之间的实时语音通信以及对井下状况的监测与预警。实验结果表明,在突发事件下,这种冗余结构在矿下抗干扰能力强,针对矿下语音通信、数据采集,体现出了系统良好的可靠性和实时性,达到了预期的效果。

**关键词:**冗余结构;CAN 总线;智能语音系统;监测;抗干扰

**中图分类号:**TN914

**文献标志码:**A

## 引言

煤矿作为中国经济迅速发展的最重要的产业之一,随着近年来,煤矿事故的频繁发生,煤矿安全成为了煤矿开采需首要解决的问题。如何解决地面主站与井下各语音节点实时性通信与安全检测、监控是煤矿安全生产的重要保障。很多煤矿通信系统依旧使用传统调度通信系统,主要分为有线调度电话、无线调度电话,以及井下局部扩音电话系统<sup>[1]</sup>。这些传统系统具有很大的局限性,紧急情况下,无法与调度室实时通信,不能确保井下开采人员及时安全撤离。同时无法做到对井下环境信息实时而准确监测,以便提前预防事故的发生<sup>[2]</sup>。

对于传统的矿下系统,目前有很多学者提出采用 RS232、RS485 等传输方式。由于串口通信存在自身通信距离短、容纳节点少、传输速率慢等缺点<sup>[3]</sup>,也有学者提出使用 ZigBee 无线传输方式<sup>[4]</sup>。虽然 ZigBee 具有低功耗、低成本、可扩展性高等优点,但是矿下环境恶劣,容易导致传输不稳定,传输速率低,抗干扰很弱,会出现通信的中断,不利于全面推广和发展。

CAN(Contoller Area Network,控制器局域网)是由德国 BOSCH 公司是针对汽车应用而开发的多主机局部网络,主要是应用于汽车的监测和控制,解决汽车上众多电子设备之间的通信问题。它的出现为分布式控制系统实现提供了有力的技术支持,也保证了网络各节点之间的数据通信实时性强、各节点之间实现自由通信

收稿日期:2018-01-24

基金项目:安徽省高校自然科学基金项目(KJ2016A058)

作者简介:陈新星(1990-),男,安徽桐城人,硕士生,主要从事嵌入式系统方面的研究,(E-mail)xinxing1115@sina.com;

娄柯(1979-),男,安徽宿州人,副教授,硕士生导师,主要从事移动传感器网络信息融合和协同控制方面的研究,(E-mail)

louke1979@163.com

的功能。CAN 总线常用通信介质有双绞线或光纤等,利用差分信号线以差分电压方式在网络间进行通信。在通信过程中完成优先级判别、数据检验、位流编码、位填充、错误处理等工作<sup>[5]</sup>。

CAN 总线作为一种串行数据传输系统网络与一般的通信总线相比,具有可靠性强、实时性强和抗电磁干扰能力强的特点,可靠的错误检测和故障界定机制<sup>[6-7]</sup>。但是在应用过程中 CAN 总线不可避免地经受各种自然因素或人为因素的影响,CAN 总线可能会出现各种故障,比如,通信介质的破损以及断线或出现短路现象,CAN 总线收发器或控制器出现故障等。一旦 CAN 总线通信过程中任何环节出现故障,矿下重要的信息就不能及时传达到地面主站,井上工作人员就无法掌握到井下的一切动态,形成井下盲区,严重时可能会造成重大事故。因此有必要对 CAN 总线可靠性进行强化设计。本文提出了冗余技术对系统通信网络的优化,比传统单 CAN 总线具有更好的可靠性和抗干扰能力。

### 1 系统整体及节点模块结构

#### 1.1 系统整体组成

系统总体框架示意图如图 1 所示,该智能语音系统主要是由井上地面控制主站、监测中心站和井下分站的各个语音智能节点,CAN 继电器,通信电缆等部分组成。地面主站可以调度上位机对井下的各个智能语音终端进行操作,实现语音以点播、组播以及全呼方式对井下终端的通信,同时各分站也可以实现语音的组呼或者调度呼叫。在地面监测站还可以实现对井下各个分站的操作系统进行实时监控,准确掌握恶劣井下环境的各个参数指标,并且可以及时地对井下的突发情况做到有效应对措施<sup>[8-9]</sup>。

#### 1.2 系统总体硬件结构设计

在系统通信功能上,主站和分站硬件结构的设计基本相同,都是实现语音信号的采集、编码、传输、解码和播放。主站点增加人机交互模块,分站点硬件设计框图如图 2 所示。硬件结构图主要是由 MIC 输入的语音信号,经过 AGC 电路及模数转换器,然后通过 AMBE - 2000 芯片对语音信号压缩编码后送入 MCU 中,同时智能传感器将采样数据也送入 MCU 中,通过隔离 CAN 收

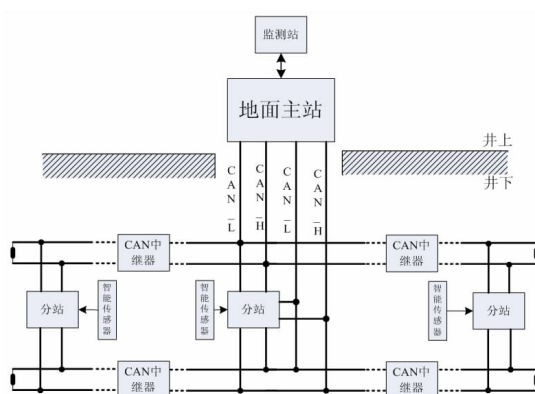


图 1 系统总体框架示意图

发器将数据发送到 CAN 总线上。在井下通信时,CAN 总线上的语音数据会通过 CAN 收发器送入 MCU 中,然后送到 AMBE - 2000 解压解码,再通过数模转换器,最后进行功率放大送到扬声器中<sup>[10-11]</sup>。采用双总线结构来提高各个站点之间通讯的抗干扰能力。

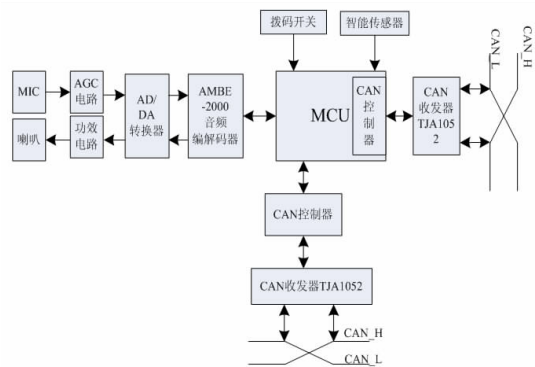


图 2 分站点设计框图

### 2 系统硬件设计

#### 2.1 主控制器模块

本系统所使用处理器皆采用 ST 公司生产的 STM32F103CBT6<sup>[12-13]</sup> 嵌入式硬件平台来设计,其采用高性能 ARM Cortex - M3 RISC 内核,工作时钟为 72 MHz,且芯片内部集成了一路 CAN 总线控制器,高达 128 KB 的 Flash 以及 64 KB 的 SRAM。内部集成了 SPI、USB、USART、I2C 以及网络等外设多种接口,具有强大的数据处理能力和网络通信能力。

#### 2.2 CAN 总线接口模块

由于矿下环境极为复杂,MCU 内部增强型 bx - CAN 控制器支持标准的 CAN2.0A 和 CAN2.0B 协议以

及远距离传输,在正常通信时,总线传输速率可以高达 1 Mbps,CAN 通信接口模块设计是保持正常通信、可靠收发数据的关键。由于在煤矿下面电气设备数量众多,存在多种干扰源,在硬件设计时要考虑 EMI/ESD 性能,使系统抗干扰能力增强。故选择高速 CAN 隔离芯片 TJA1052,隔离电压能达到 2500 V,CAN 总线的通信电缆需要选择双绞线来降低信号干扰。CAN 总线接口模块如图 3 所示。

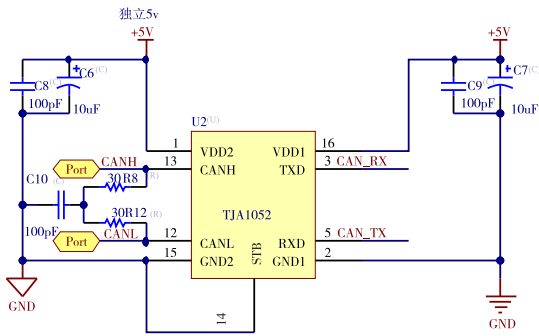


图 3 CAN 总线接口模块

### 2.3 语音信号处理模块

CAN 总线在传输信号频率上是属于窄带宽的数据总线,随着通信距离的增加而波特率会降低,如果直接采集语音信号送入到 CAN 总线上,必定会造成网络拥堵,对语音的实时性就会大幅度降低。为了使语音信号在 CAN 总线传输的带宽缩减,采用了 AMBE 音频压缩算法对语音信号进行压缩编码,该算法在环境噪声以及误码率方面具有很强的鲁棒特性,具有良好的语音合成效果。

AMBE-2000 语音编解码芯片是一款低功耗、高性能且非常灵活的芯片,以多速率语音 16 位的线性装置作为最大的声音质量装置,也提供了 A 律和 u 律接口,在低数码速率环境下能提供很好的声音质量。AMBE-2000 是由两个相互独立的编码器和解码器组成,压缩后数据传输速率在 2.0 Kbps ~ 9.6 Kbps 范围内可调节。理想情况下,编码器约会每 20 ms 被读一次,20 ms 后,会读取下一个数据包。当编码器接收一个 8 kHz 的语音数据流样本,并会输出一串相应速率的通道数据。编码器和解码器的接口使用定时器时序是完全异步的,再根据接收到语音误码率的高低,可以用软件灵活的配置语音编码速率和向前纠错速率(FEC),达到最佳匹配率,

在播放时获得最佳的语音效果。语音信号处理块如图 4 所示。

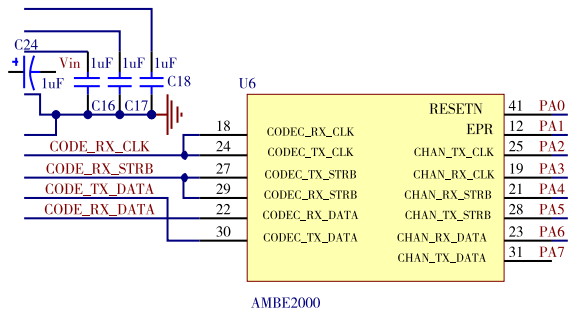


图 4 语音信号处理模块

系统中 AD/DA 转换器采用 Burr - Brown 公司开发的低电压、低功耗 16 位串行 A/D 转换器与 D/A 转换器芯片,芯片时钟频率为 4.096 MHz,采样频率从 7.2 Kbps ~ 26 Kbps,系统的语音采用频率为 8 kHz,PCM3500 带有回环自检功能,使芯片在工作时自身功能更加稳定。由于电路中采用主动模式,主动/被动模式引脚 M/S 置为高电平。当 LOOP 置为高电平,则是 A/D 转换器与 D/A 转换器输出与输入互连,即  $V_{out}$  接到  $V_{in}$ ,方便了芯片自身检测。HPFD 输入高电平,可滤除输入的直流分量。AMBE-2000 和 PCM3500 采用 SPI 接口通信,端口 BCK 时钟频率为 128 kHz,BCK 输出时钟信号,FS 为主动输出同步信号,两者需严格同步。麦克风和喇叭采用单端输入/输出方式。A/D 及 D/A 转换模块接口如图 5 所示。

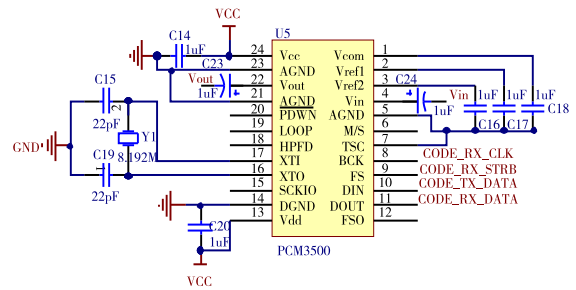


图 5 A/D 及 D/A 转换模块

### 2.4 智能传感器模块

使用自组合的多种无线传感器<sup>[14-15]</sup>对井下瓦斯浓度、CO<sub>2</sub> 浓度、O<sub>2</sub> 浓度和温度进行检测,形成一个无线检测网络,利用 ZigBee 与多个无线传感器节点进行通信。采集矿下数据,传送到地面工作站。ZigBee 传感器模块接口如图 6 所示。

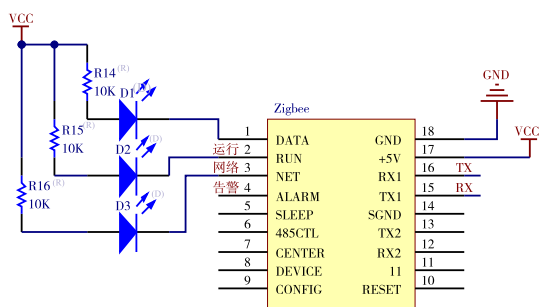


图6 传感器模块

### 3 系统软件设计

软件设计使用结构化设计,具有很好的模块性和可移植性,根据不同的应用场景,可以将功能代码进行重组,获得所需要的功能。软件功能主要是语音采集播放、样本数据采集、数据处理、CAN通信。一个CAN数据帧是由帧起始、仲裁段、控制段、数据段、CRC段、ACK段、帧结束七个段位组成的。数据帧是以一个显性位(逻辑0)开始,以7个连续的隐性位(逻辑1)结束。仲裁段的内容主要是数据的ID信息,能够控制数据帧发送时的优先级,也决定其他设备是否会接收这个数据帧,对于比较重要信息,会打包优先级更高的ID,使它能够在及时地发送出去。正是因为CAN总线的优先级分配原则,在突发情况下,能够显示出CAN总线设计的系统优越性。在接收报文的时候,根据报文的ID的类别,CAN过滤器会丢弃不需要的报文,接收所选择的需要的报文。

在通信过程中,各级节点会同时向双CAN总线上发送报文,不分主从CAN总线。在接收CAN总线数据时,若判断是语音报文,只需接收最先到达节点的语音报文,解压处理,对后到达总线的语音报文数据接收后,不作处理。若接收到是传感器数据,节点接收到CAN总线数据后,与另一条CAN总线上的数据做比对,两者若是相同,则主站处理数据并显示,反之,则重新请求节点发送数据。

系统的软件主要由系统参数初始化程序、发送程序、接收程序、数据采集程序等组成。系统上电,各模块初始化后,由定时器产生1ms的时钟,并设定传感器数据采集时钟周期10ms,系统检测语音按键是否按下,若按下,系统继续检测是否是紧急语音,若是,则启动紧急

语音程序,将CAN数据帧的ID设置为最高优先级,启动语音采集子程序,打包报文并通过CAN网络发送出去。判断采集传感器数据定时时间是否到达,若到达,通过ADC采集传感器的数据,根据ADC采集参数的类别不同,设置不同数据标志位,按照一定的帧顺序进行打包成报文,通过CAN总线发送出去。

当CAN接口模块检测到CAN总线接收FIFO数据时,产生中断,判断是否是语音中断,若是,接收语音,解码并播放语音。反之,判断是否是采集传感器数据中断,若是,解码传感器采集数据报文,并且在地面的检测屏幕上显示,能够实时观察到矿下的情况。系统发送主程序如图7所示,中断接收程序如图8所示。

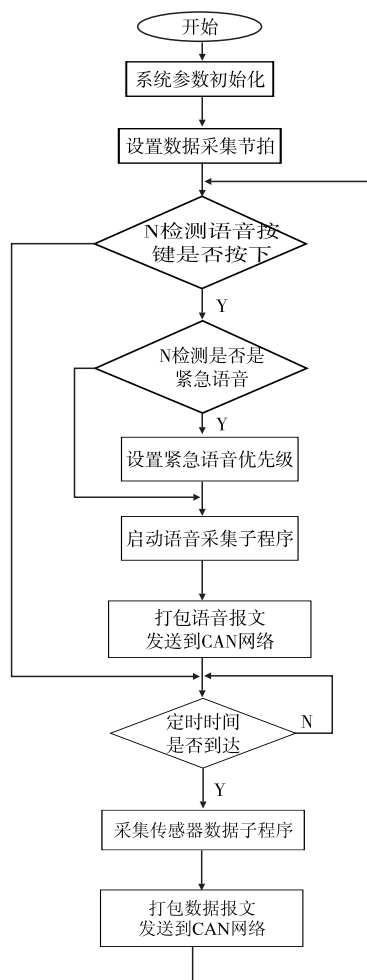


图7 系统发送主程序

### 4 实验与分析

为了测试系统设计功能的有效性,分别对系统语音和传感器的性能进行了验证。针对语音测试,图9、图

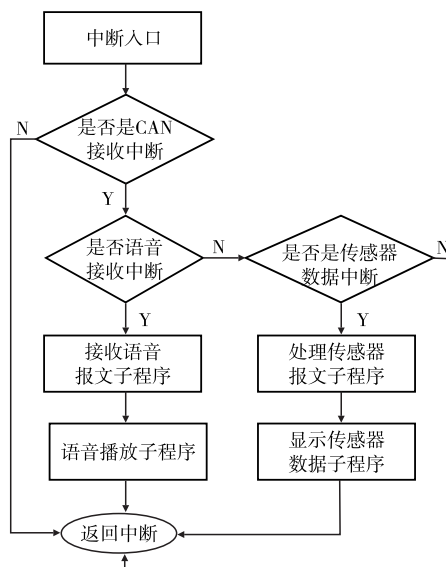


图 8 中断接收程序

10 分别是原始信号和播放信号的时域和频域的分析结果,通过语音信号的包络,可以看出系统具有语音还原能力。

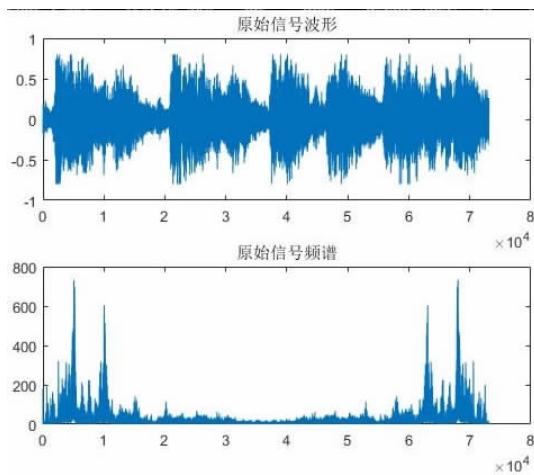


图 9 原始信号时、频域图

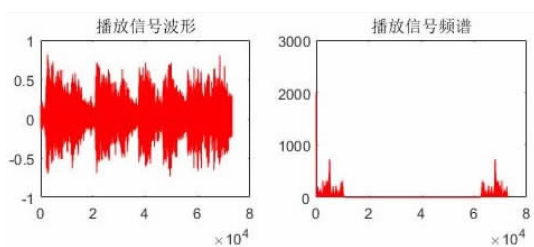


图 10 播放信号时、频域图

从矿下不同的地点采集的数据,如采掘工作面进风流中、采掘工作面回风巷风流中和矿井总回风巷中等。采集数据及标准数据见表 1。实验结果表明,传感器所

采集的数据的相对误差在  $\pm 10\%$  之内,系统传感器的采集具有较高的测量精度。

表 1 矿下测试数据对比

| 测量次数                 |       | 1    | 2    | 3    |
|----------------------|-------|------|------|------|
| 瓦斯浓度/%               | 现场测量值 | 0.53 | 0.36 | 0.40 |
|                      | 采集显示值 | 0.55 | 0.33 | 0.38 |
|                      | 相对误差  | 3.8  | -8.3 | -5.0 |
| CO <sub>2</sub> 浓度/% | 现场测量值 | 0.35 | 0.67 | 1.19 |
|                      | 采集显示值 | 0.38 | 0.72 | 1.14 |
|                      | 相对误差  | 8.6  | 7.5  | -4.4 |
| O <sub>2</sub> 浓度/%  | 现场测量值 | 21.5 | 24.6 | 25.2 |
|                      | 采集显示值 | 21.9 | 23.8 | 25.9 |
|                      | 相对误差  | 1.9  | -3.2 | 2.8  |
| 温度/°C                | 现场测量值 | 23.5 | 24.0 | 24.3 |
|                      | 采集显示值 | 23.9 | 23.6 | 24.1 |
|                      | 相对误差  | 1.7  | -1.6 | -0.8 |

## 5 结束语

利用双 CAN 总线冗余结构的优越性,本文详细地给出了以 STM32 为控制核心的矿下语音智能通信系统的设计方案。系统能够实现正常的矿下语音通信,矿下紧急事件通过双 CAN 总线同时发送至地面总站,供井上工作人员迅速做出救援反应。同时节点系统能够通过 CAN 总线实时对井下的瓦斯浓度、CO<sub>2</sub> 浓度、O<sub>2</sub> 浓度和温度的实时监测,具有更高的安全性、可靠性、实时性,具有良好的实用价值和推广价值。

## 参考文献:

- [1] 于宁宁,丁恩杰,赵宗平.基于 CAN 总线的煤矿语音通信系统的设计[J].电声技术,2010,34(5):59-61.
- [2] 聂建永.基于物联网的瓦斯监测预警智能手持终端研究[J].能源与节能,2016(8):84-85.
- [3] 陈伟.基于 CAN 总线的煤矿安全监测系统的研究[J].煤矿现代化,2012(1):51-52,56.
- [4] 朱小三.基于 CAN 总线的煤矿安全监控系统的研究与实现[D].西安:西安电子科技大学,2007.
- [5] 牛跃听,周立功,方丹.CAN 总线嵌入式开发[M].北京:北京航空航天大学出版社,2012.
- [6] 霍跃华.基于 CAN 总线多级网络扩展的井下分站研究[J].科技与创新,2016(22):73-74.
- [7] 何瑛.基于 CAN 总线和 ARM 的矿井安全监测系统的应用和研究[J].煤矿机械,2017,38(4):161-164.

- [8] 金兆楠.双冗余 CAN 总线及可靠性研究[J].智慧工厂,2014(12): 76-78.
- [9] 李华.基于 CAN 总线的煤矿语音广播系统设计[J].科技创新与应用,2017(5):43-44.
- [10] 王桂梅,赵彦斌,李长刚.基于 CAN 总线的井下输送带语音通信系统[J].矿山机械,2012,40(4):69-71.
- [11] 陈媛.一种基于 AMBE-2000 的语音系统的设计与实现[J].现代电子技术,2010,33(16):205-207.
- [12] 刘火良,杨森.STM32 库开发实战指南[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [13] 彭刚,秦志强.基于 ARM Cortex-M3 的 STM32 系列嵌入式微控制器应用实践[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [14] 刘春晖,黄文超,王阳.基于 STM32 无线压力传感器监测系统[J].煤矿机械,2015,36(8):214-217.
- [15] 张荣华,邹超华.基于 STM32 的大气粉尘浓度实时检测系统的设计[J].四川理工学院学报:自然科学版,2016,29(2):15-18.

## Design of Intelligent Voice System Based on CAN Bus Redundant Structure Under the Mine

CHEN Xinxing<sup>1</sup>, LOU Ke<sup>1</sup>, GAO Zilang<sup>2</sup>

(1. Anhui Key Laboratory of Detection Technology and Energy Saving Devices, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China; 2. Wuhu Huicui High School, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** In order to meet the reliable requirements of intelligent voice communication system in the harsh environment under the mine, it is advertised to integrate the idea of redundant structure into CAN bus intelligent voice communication system. The system is based on the parallel double CAN bus, and all nodes have communicated with double CAN bus simultaneously. In the system, with the STM32 microprocessor and AMBE-2000 chip as the core, the voice signal encoded by the AMBE is transmitted to all nodes of the system by the CAN bus. In the meantime, the underpit collected data by the sensor are also transmitted to the ground master station via the CAN bus, so as to realize the real-time voice communication between the ground master station and the underground substations, including the communication among all substations. Besides, the voice signal can monitor and give early warnings of underground conditions. The experimental results show that in emergencies, the redundant structure has good anti-interference ability under the mine, which has achieved the expected reliability and real-time performance for the voice communications and data acquisition under the mine.

**Key words:** redundant structure; CAN bus; intelligent voice system; monitor; anti-interference