

文章编号:1671-251X(2021)08-0121-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020090027

安全监控系统瓦斯电闭锁检测装置设计

戴万波^{1,2,3}



扫码移动阅读

- (1. 煤炭科学技术研究院有限公司, 北京 100013;
2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013;
3. 北京市煤矿安全工程技术研究中心, 北京 100013)

摘要:煤矿安全监控系统多采用基于 CAN 总线的主通信机制或基于 RS485 总线的主从通信机制,通过截取甲烷超限报文时刻和断电器断电报文时刻来计算断电时间。由于不同厂家监控系统通信机制、通信协议各不相同,无法设计统一的瓦斯电闭锁检测方法和装置。并且目前针对缩短瓦斯电闭锁断电时间的研究较多,但在瓦斯电闭锁检测方面的研究很少。针对上述问题,基于传感器通信切换和模拟传感器报文发送的检测方法设计了一种安全监控系统瓦斯电闭锁检测装置。传感器通信切换方法不受通信协议和总线形式的限制,检测时采用同一厂家传感器、分站、断电器和安全监控软件,不需要知晓通信协议。该方法操作简单,且不需要厂家配合,适用于采用主从通信机制的瓦斯电闭锁检测。模拟传感器报文发送方法由检测装置模拟甲烷传感器发送报文与分站通信,不需要知晓通信协议,不需要考虑通信机制问题,报文由厂家提供,按照报文发送顺序和次数进行配置。该方法操作较为繁琐,需要厂家提供通信报文,但测试精度更高,适用于各种通信协议的瓦斯电闭锁检测。验证结果表明:传感器通信切换方法不适合基于 CAN 总线的主通信;基于 RS485 或 CAN 总线的模拟报文发送方法均可实现本地断电时间 $<2\text{ s}$,异地断电时间 $<20\text{ s}$;2 种检测方法的计时精度均可达到 0.01 s 。

关键词:煤矿安全监控系统; 瓦斯电闭锁检测装置; 主从通信; 断电时间; 传感器通信切换; 模拟传感器报文发送

中图分类号:TD76 文献标志码:A

Design of gas electric locking detection device for safety monitoring system

DAI Wanbo^{1,2,3}

- (1. CCTEG China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;
2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China;
3. Beijing Engineering and Research Center of Mine Safe, Beijing 100013, China)

Abstract:Coal mine safety monitoring systems mostly use CAN bus-based multi-master communication mechanism or RS485 bus-based master-slave communication mechanism, which calculates the power-off time by intercepting the time of methane overrun messages and the time of power-off messages of the breaker. Since the communication mechanism and communication protocol of the monitoring system of different manufacturers are different, it is impossible to design a unified gas locking detection method and device. At present, there are many researches for shortening the power-off time of gas electric locking, but there are few researches on gas electric locking detection. In order to solve the above problems, a gas

收稿日期:2021-03-09;**修回日期:**2021-08-02;**责任编辑:**胡娴,郑海霞。
基金项目:中煤科工集团有限公司科技创新创业资金专项项目(2020-ZD005-02)。
作者简介:戴万波(1984—),男,湖南长沙人,工程师,主要从事煤矿监测监控、自动控制、信息化集成等方面的工作,E-mail:daiwanbo@ccrise.cn。

引用格式:戴万波.安全监控系统瓦斯电闭锁检测装置设计[J].工矿自动化,2021,47(8):121-127.
DAI Wanbo. Design of gas electric locking detection device for safety monitoring system[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(8): 121-127.

electric locking detection device for safety monitoring system is designed based on the detection method of sensor communication switching and analog sensor message sending. The sensor communication switching method is not limited by the communication protocol and bus form, and the same manufacturer's sensors, substations, circuit breakers and safety monitoring software are used for detection, without the need to know the communication protocol. This method is simple to operate and does not require the cooperation of the manufacturer. It is suitable for gas electric locking detection using the master-slave communication mechanism. The analog sensor message sending method uses the detection device to simulate a methane sensor to send messages to communicate with the substation. There is no need to know the communication protocol or consider the communication mechanism. The messages are provided by the manufacturer and configured according to the order and times of message sending. This method is more cumbersome to operate and requires the manufacturer to provide communication messages. However, the test accuracy is higher and the method is suitable for gas electric locking detection of various communication protocols. The verification results show that the sensor communication switching method is not suitable for CAN bus-based multi-master communication mechanism. The analog message sending method based on RS485 or CAN bus can achieve local power-off time less than 2 s and remote power-off time less than 20 s. The timing accuracy of the two detection methods can both reach 0.01 s.

Key words: coal mine safety monitoring system; gas electric locking detection device; master-slave communication; power-off time; sensor communication switching; analog sensor message sending

0 引言

瓦斯电闭锁的可靠性直接关系到煤矿作业人员生命安全,也是安全监控系统重要的一环^[1-2]。随着数字化安全监控系统的升级改造,目前安全监控系统多采用基于 CAN 总线的多主通信机制或基于 RS485 总线的主从通信机制^[3-4],通过截取甲烷超限报文时刻和断电器断电报文时刻来计算断电时间。由于不同厂家监控系统通信机制、通信协议各不相同,且无法获取通信协议,造成无法设计统一的监测程序实现瓦斯电闭锁功能检测。检测方法和装置的缺失对安标中心安全监控系统瓦斯电闭锁技术指标检测、煤矿安全生产和煤矿监管监察造成了极大的困难。

目前,针对缩短瓦斯电闭锁断电时间的研究较多。张金豪^[5]针对 RS485 通信采用主从通信方法造成巡检周期长的问题,提出了一种基于以太网+现场总线通信模式下的异地快速断电的设计方案,极大地缩减了异地断电时间。张伟杰^[6]为了解决系统因挂接分站数量限制导致巡检周期过长的问题,采用基于多线程的数据采集算法,缩短了系统的巡检周期,有效提高了巡检效率,确保异地断电时间不超过 20 s。上述研究均是从提高安全监控系统产品设计水平的角度出发,通过提高安全监控分站通信

能力,缩短巡检周期,从而提高瓦斯电闭锁水平,对瓦斯电闭锁断电时间检测有一定借鉴意义,但是在瓦斯电闭锁检测方面的研究很少。

为更加有效快速地检测瓦斯电闭锁断电时间,本文基于传感器通信切换和模拟传感器报文发送的测试方法,设计了基于数字化传输的不受通信机制、通信协议制约的瓦斯电闭锁检测装置。传感器通信切换方法采用同一厂家传感器、分站、断电器和安全监控软件,实现正常状态与超限或故障状态甲烷传感器的通信切换,不受通信协议和总线形式限制;模拟传感器报文发送方法是由厂家提供通信报文,检测装置模拟发送和接收传感器报文,无需对协议进行解析,只需判断接收报文与输入是否一致。

1 瓦斯电闭锁检测装置检测原理

1.1 瓦斯电闭锁控制逻辑

瓦斯电闭锁过程如图 1 所示。当掘进工作面各位置甲烷浓度超限或故障时,安全监控系统分站控制断电器切断掘进巷道内全部非本质安全型电气设备的电源,即本地断电。当本地掘进工作面某位置甲烷传感器超限或故障时,需要同时切断被串掘进巷道内全部非本质安全型电气设备的电源,即异地断电。甲烷浓度低于限定值时,开关自动解锁,安全监控系统分站控制断电器为开关复电^[7-10]。

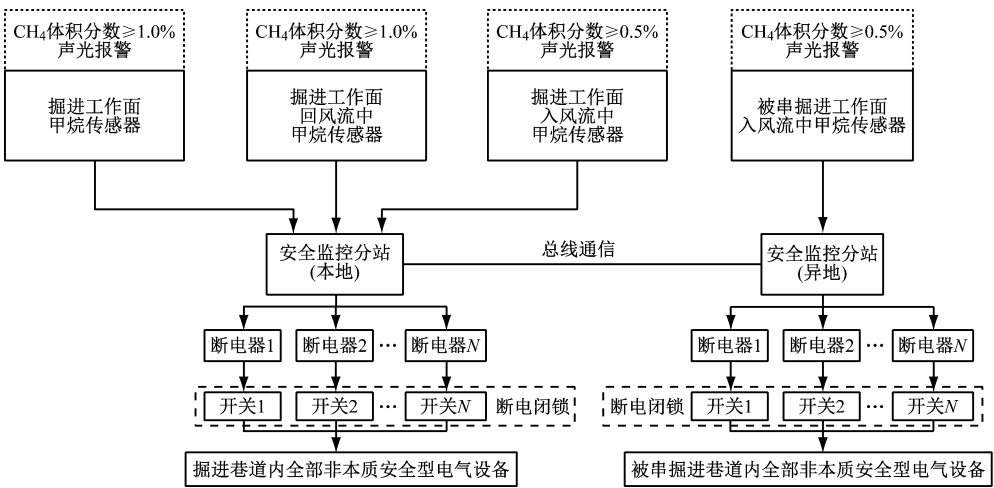


图 1 瓦斯电闭锁

Fig. 1 Gas electric locking

1.2 装置控制逻辑

瓦斯电闭锁断电时间指标最为重要,因此,本文仅针对断电计时进行设计,复电计时测试原理类似。不同煤矿对瓦斯电闭锁控制逻辑各不相同,无法完全按照 AQ6201—2006《煤矿安全监控系统通用技术要求》进行实施,需要灵活的断电控制逻辑以满足实际需求。文献[11]提出了通过增加瓦斯传感器的风电瓦斯闭锁配置信息的形式,增加符合不同煤矿

实际需求的风电瓦斯闭锁控制逻辑。因此,瓦斯电闭锁检测装置在瓦斯电闭锁断电计时逻辑的基础上,增加甲烷传感器与断电器之间的灵活断电逻辑,实现指定位置、指定个数甲烷传感器超限情况下,指定巷道内指定数量开关断电的复杂控制逻辑,通过检测手段促进安全监控系统瓦斯电闭锁功能技术指标的提升。瓦斯电闭锁检测装置断电计时控制逻辑见表 1。

表 1 瓦斯电闭锁检测装置断电计时控制逻辑

Table 1 Power-off timing control logic of the detection device of gas electric locking

控制模式	控制逻辑
单个传感器对应单个断电器	实现甲烷传感器超限或故障控制对应断电器断电,并记录断电时间
单个传感器对应多个断电器	实现固定甲烷传感器超限或故障对应控制多个断电器同时断电,并分别记录每个断电器断电时间
多个传感器对应单个断电器	形式 1:任意一个传感器超限或故障控制断电器断电,并记录断电时间 形式 2:超过一定数量甲烷传感器超限或故障则控制断电器断电,并记录断电时间 形式 3:所有甲烷传感器全部超限或故障时控制断电器断电,并记录断电时间
多个传感器对应多个断电器	形式 1:任意一个传感器超限或故障控制全部断电器断电,并分别记录断电器断电时间 形式 2:超过一定数量甲烷传感器超限或故障则控制全部断电器断电,并分别记录断电器断电时间 形式 3:传感器全部超限或故障时控制全部断电器断电,并分别记录断电器断电时间

1.3 检测方法设计

基于数字化通信的安全监控系统瓦斯电闭锁检测需要解决协议未知和通信机制不同 2 个难点。各厂家的安全监控系统均为私有协议,且不对外开放,在不知道通信协议的情况下,瓦斯电闭锁检测装置无法确定传感器的报警时刻和断电信号时刻。基于 CAN 总线的多主通信和基于 RS485 总线的主从通信逻辑相差大^[12],造成传感器在注册、数据上传、时间同步方法均不相同,因此,检测装置需兼容 CAN 和 RS485 总线这 2 种通信机制。针对上述难题,本

文提出了传感器通信切换、模拟传感器报文发送 2 种断电检测方法。

1.3.1 传感器通信切换方法

传感器通信切换方法完全不受通信协议和总线形式的限制,检测时采用同一厂家传感器、分站、断电器和安全监控软件,无需知晓通信协议。该方法操作简单,且不需要厂家配合,适用于采用主从通信机制的瓦斯电闭锁检测。

传感器通信切换测试方法如图 2 所示。将 3 台地址相同且已注册的甲烷传感器接入检测装置,让

传感器处于正常、超限、故障 3 种状态,通过多路模拟开关实现 3 种状态的切换。检测装置的通信输出接口接入本地和异地安全监控系统分站。测试前,检测装置输出正常传感器信号与分站通信,安全监控系统后台软件显示传感器通信正常后可开始测试。测试时,检测装置切换状态为超限或故障状态并开始计时,检测到断电器断电信号时停止计时,即断电时间。

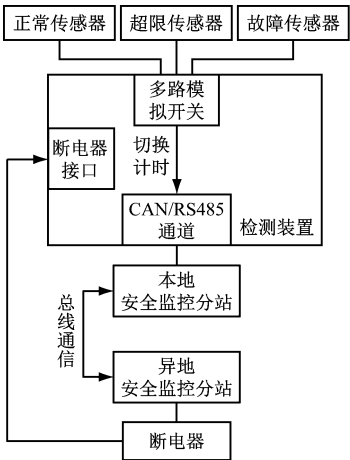


图 2 传感器通信切换方法

Fig. 2 Sensor communication switching method

1.3.2 模拟传感器报文发送方法

模拟传感器报文发送方法由检测装置模拟甲烷传感器发送报文与分站通信,无需知晓通信协议,报文由厂家提供,按照报文发送顺序和次数进行配置,区分多主和主从通信。多主通信按顺序主动上传输入报文,监测应答报文后轮询发送,以保证系统正常通信;主从通信检测输入的主机报文,回复输入的从机报文。该方法操作较为繁琐,需要厂家提供通信报文,但测试精度更高,适用于各种通信协议的瓦斯电闭锁检测。

模拟传感器报文发送方法如图 3 所示。通过触摸显示屏输入正常、超限、故障 3 种状态的甲烷传感器模拟报文,报文根据需测试的监控系统通信机制进行设置。基于 RS485 总线的主从通信机制,需通过显示屏输入分站下发报文和传感器应答报文,包括传感器注册、时间同步、实时数据采集报文等,检测装置需根据下发报文进行应答,从而保证正常通信。基于 CAN 总线的多主通信机制,需通过显示屏输入传感器上传报文,包括传感器注册报文、实时数据上传报文等,装置通过接收到的分站应答报文检测通信是否正常。报文配置好后,根据安全监控系统的总线形式,将检测装置通信输出接口接入分站。监控系统后台软件由厂家提供。测试前,观察

监控系统后台软件传感器是否通信正常。测试时,从发送超限或故障报文时开始计时,检测到断电器断电信号停止计时,即断电时间。

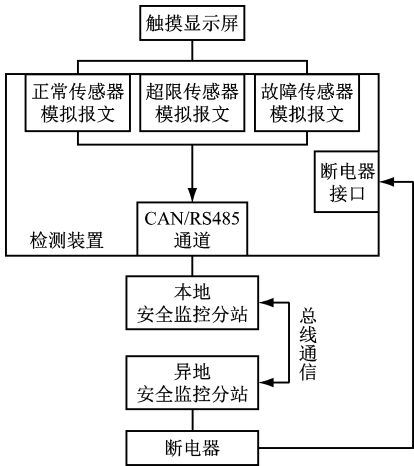


图 3 模拟传感器报文发送方法

Fig. 3 Analog sensor message sending method

2 瓦斯电闭锁检测装置硬件设计

为了实现多个甲烷传感器对应多个断路器的复杂断电控制逻辑,兼容基于 CAN 和 RS485 总线通信的安全监控系统,检测装置必须同时具备多路 CAN 和 RS485 总线接口,接口需与安全监控系统分站保持通信正常,以处理甲烷传感器的实时数据。检测装置采用双 CPU 设计,最大可支持 6 路 RS485 和 6 路 CAN 通信,双 CPU 之间采用 SPI 总线通信,通信速率可达 18 Mbit/s,实现双 CPU 的快速数据交互。

由于触摸屏只能与主 CPU 通信,在为从 CPU 配置参数时需由主 CPU 进行转发,为了保证双 CPU 之间快速协同工作,检测装置采用基于 SPI 总线的双 CPU 交互方案^[13]。SPI 为全双工,速度快,波特率可达 20 Mbit/s 以上,发送 1 个数据不到 1 μ s,从 CPU 可主动上传断电计时数据,不用主 CPU 一直轮询等待,浪费 CPU 资源。双 CPU 之间 SPI 接线如图 4 所示,控制程序采用数据异步交互方法。

(1) SPI 主发送数据。首先将 CS_Master 管脚设置为低电平,SPI 主开始发送数据,SPI 从使用中断接收 SPI 主发送的数据,将 CS_Master 管脚设置为高电平,即实现了 1 包数据的交互。SPI 从使用中断接收不占用 CPU 资源,极大提高系统实时性,避免数据丢失。

(2) SPI 从发送数据。SPI 从发送数据前,需将数据的长度放入 SPI 从的发送寄存器,然后将

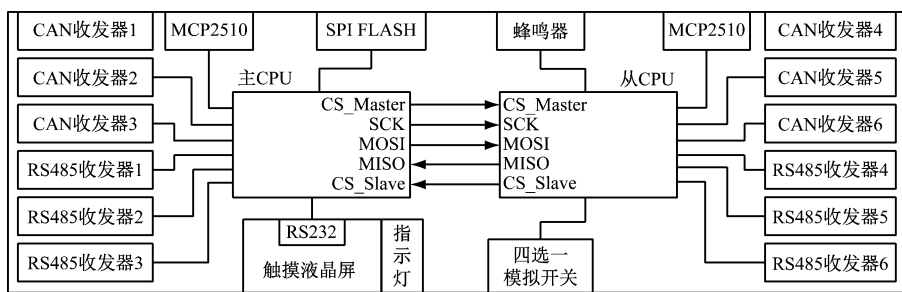


图 4 基于 SPI 总线的双 CPU 通信

Fig. 4 SPI bus-based dual CPU communication

CS_Slave 管脚设置为高电平, SPI 主检测到 CS_Slave 高电平就会发送 clock 信号, 获取 SPI 从发送数据的长度 M (即获取 SPI 从要发送的数据包字节数), 接着 SPI 主为 SPI 从提供 M 个 clock 信号来获取 SPI 从发送的数据包, 将 CS_Slave 管脚设置为低电平, 即实现了一包数据的交互。

3 瓦斯电闭锁检测装置控制程序设计

检测装置控制程序采用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统实现多任务并发处理。控制程序通过创建多个任务来实现不同控制逻辑,包括开始任务、显示屏配置任务、单个传感器对单个断路器控制任务(1 对 1 任务)、单个传感器对应多个断路器控制任务(1 对多任务)、多个传感器对应单个断路器控制任务(多对 1 任务)、多个传感器对应多个断路器控制任务(多对多任务)等^[14],通过信号量的形式实现任务之间调度,每个断电控制任务申请一个信号量,并使任务阻塞在程序开始处,只有获得信号量的任务才能够执行。控制程序中 CAN、RS485 通信均采用中断的形式接收数据;断路器输出的干节点信号接装置单片机外部中断管脚,采用中断的形式进行接收,这些设计极大地降低了 CPU 的使用率,提高了程序的实时性和断电计时的精准性。

瓦斯电闭锁检测装置任务流程如下:

(1) 检测装置通过串口接收显示屏配置数据, 数据接收完成后在串口接收中断函数中发送配置信号量, 收到配置信号量后选择测试方法。

(2) 测试方法为传感器切换方法时,进行超限或故障断电测试,检测到测试按钮按下后,控制模拟开关输出超限或故障传感器信号,并打开定时器计时,等待断电器断电,接收到断电信号后,在显示屏上显示断电时间,任务结束;测试方法为模拟报文发送方法时,依次配置控制逻辑、总线参数、测试通道和总线数据,根据控制逻辑判断需要调用的任务,发送相应任务的信号量,控制定时器分别对每个断电器断电时间进行计时,等待断电器断电,接收到所有断电信号后,在显示屏上显示最后一台断电器断电时间,任务结束。

(3) 任务结束后释放 CPU 资源,实现任务切换,装置继续执行其他任务。

4 测试验证

瓦斯电闭锁检测装置模拟报文发送方法测试如图 5 所示。检测装置可根据分站通信形式选择 CAN 或 RS485 总线(将 6 个通道全部接入本地分站的 1 个通道,如图中红色总线所示,测试 1 个或

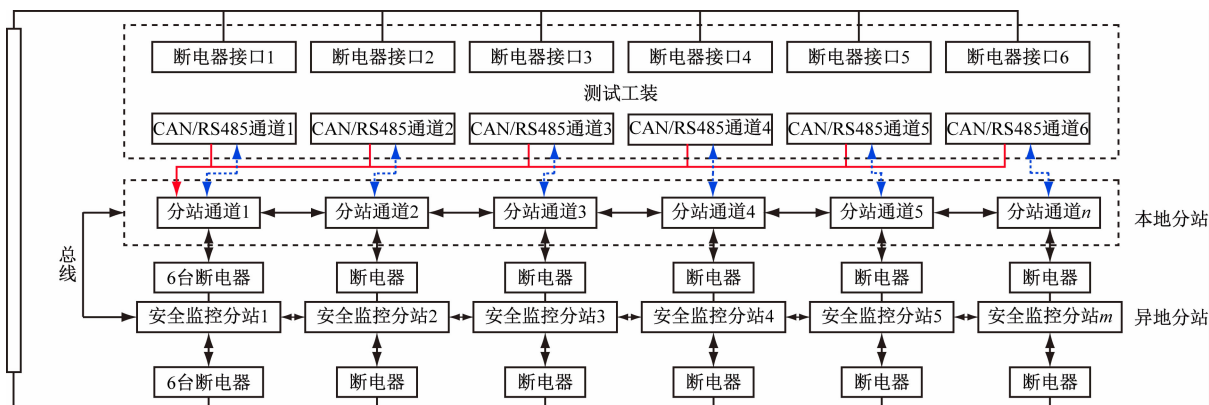


图 5 检测装置测试

Fig. 5 Detection device test

多个甲烷传感器超限或故障时对应单个或多个断电器的本地断电或异地断电;将装置 6 个通道任意接入本地分站其他通道,如图中蓝色总线所示,测试分站不同通道之间因多任务处理和轮询延时导致断电时间增加)。6 台断电器按需求接入本地分站任意通道,断电器输出的干节点信号接入检测装置相应的断电器接口(装置模拟多个甲烷传感器超限或故障对应多个断电器断电时,甲烷传感器超限或故障报文发送时刻开始计时,所有断电器均断电时停止

表 2 测试数据
Table 2 Test data

断电模式	接线模式	通信切换方法 (RS485 总线)/s	通信切换方法 (CAN 总线)	模拟报文发送方法 (RS485 总线)/s	模拟报文发送方法 (CAN 总线)/s
本地断电	装置模拟 6 个传感器接入本地分站 1 个通道,6 台断电器也接在该通道	<2.75	存在失败现象	<1.68	<1.13
本地断电	装置模拟 6 个传感器接入本地分站 6 个通道,6 台断电器分别接在 6 个 通道	<2.75	存在失败现象	<1.71	<1.28
异地断电	装置模拟 6 个传感器接入本地分站 1 个通道,6 台断电器接在异地分站的 1 个通道	<40.00	存在失败现象	<18.38	<10.45
异地断电	装置模拟 6 个传感器接入本地分站 6 个通道,6 台断电器分别接在异地分 站的 6 个通道	<40.00	存在失败现象	<19.84	<15.47

由表 2 可知,计时精度达到 0.01 s。基于 CAN 总线的通信切换方法,切换后,甲烷传感器由于未注册,会重新注册,并等待分站同步,再上传数据,无法精确计时,且存在失败现象,故传感器切换方法不适合多主通信。基于 RS485 或 CAN 总线的模拟报文发送方法均可实现本地断电时间<2 s,异地断电时间<20 s,分站收到甲烷传感器超限或故障报文后会立即向断电器或向异地分站下发断电命令,从而保证断电时间。

5 结论

(1) 传感器通信切换方法通过多路模拟开关电路设计实现装置对正常、超限、故障传感器信号输出的切换,检测装置将正常传感器信号输出与分站通信。模拟报文发送方法通过触摸显示屏输入正常、超限、故障 3 种状态的甲烷传感器模拟报文,报文根据需测试的监控系统通信机制进行设置:基于 RS485 总线的主从通信机制,需通过显示屏输入分站下发报文和传感器应答报文,检测装置需根据下

计时),此种形式可实现任意逻辑的本地断电测试,可以模拟掘进工作面瓦斯电闭锁功能测试。若要实现异地断电测试,需要在安全监控系统分站总线上再接入 6 台异地分站,断电器按需求接入,此种形式可以模拟被串掘进工作面或关联工作面瓦斯电闭锁功能测试。

为保证测试可靠性,甲烷传感器和断电器所在通道均满载,通过秒表、CAN 和 RS485 总线分析仪测得断电时间,测试数据见表 2。

发报文进行应答,从而保证正常通信;基于 CAN 总线的多主通信机制,需通过显示屏输入传感器上传报文,装置通过接收到的分站应答报文检测通信是否正常。

(2) 基于 CAN 总线的多主通信机制采用通信切换方法切换后,甲烷传感器由于未注册,会重新注册,并等待分站同步,再上传数据,无法精确计时,且存在失败现象,故传感器切换方法不适合多主通信;基于 RS485 或 CAN 总线的模拟报文发送方法均可实现本地断电时间<2 s,异地断电时间<20 s;且 2 种方法的计时精度均可达到 0.01 s。

(3) 基于上述 2 种检测方法,未来融入开停传感器的控制逻辑,瓦斯电闭锁检测装置可扩展风电瓦斯闭锁检测功能,实现风电瓦斯闭锁功能的标准化检测,为煤矿安全生产和煤矿监管、监察提供更加有效、可靠的检测手段。

参考文献(References):

[1] AQ 1029—2007 煤矿安全监控系统及检测仪器使用

管理规范[S].

AQ 1029-2007 Application and management standard for coal mine safety monitoring system and detector [S].

[2] AQ 6201—2006 煤矿安全监控系统通用技术要求[S].

AQ 6201-2006 General technical requirements of coal mine safety supervision[S].

[3] 邵严. 不定期受控 RS485 总线通信方法在煤矿安全监控系统中的应用[J]. 煤矿安全, 2020, 51 (7): 117-120.

SHAO Yan. Application of communication mode of irregularly controlled RS485 bus in monitoring system for coal mine safety[J]. Safety in Coal Mines, 2020, 51(7):117-120.

[4] 周代勇, 邵严, 胡宇. 煤矿安全监控系统总线分站的设计[J]. 煤矿机械, 2017, 38(6):187-189.

ZHOU Daiyong, SHAO Yan, HU Yu. Design of coal mine safety monitoring system of substation bus[J]. Coal Mine Machinery, 2017, 38(6):187-189.

[5] 张金豪. 煤矿井下异地快速断电的实现[J]. 煤矿安全, 2017, 48(8):106-108.

ZHANG Jinhao. Realization of fast power off in another place in coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(8):106-108.

[6] 张伟杰. 基于多线程的数据采集效率优化实现[J]. 煤矿安全, 2019, 50(5):113-115.

ZHANG Weijie. Implemetation of data acquisition efficiency optimization based on multi-threading[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(5):113-115.

[7] 薛继军. 综采工作面瓦斯电闭锁和风电闭锁系统分析与改进[J]. 机械管理开发, 2017, 32(9):75-77.

XUE Jijun. Analysis and improvement of gas locking and wind locking system in fully mechanized mining face[J]. Mechanical Management and Development, 2017, 32(9):75-77.

[8] 高久兴. KJ90 煤矿安全监控系统中甲烷风电闭锁的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2019(3):91-92.

GAO Jiuxing. Application of methane wind power blocking in KJ90 coal mine safety monitoring system [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2019(3):91-92.

[9] 冯英博, 曹品伟. 局部通风机开关与瓦斯电闭锁装置联锁改造方案[J]. 煤矿机械, 2013, 34(3):186-187.

FENG Yingbo, CAO Pinwei. Local fan switch and gas electric locking device interlock transformation program [J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34 (3): 186-187.

[10] 郝宏伟. 煤矿双巷掘进甲烷风电闭锁本地断电方案设计[J]. 煤矿现代化, 2020(1):85-86.

HAO Hongwei. Design of methane and wind power lockout for double roadway driving in coal mine[J]. Coal Mine Modernization, 2020(1):85-86.

[11] 蔡崇. 煤矿安全监控系统风电瓦斯闭锁实现方式的探讨[J]. 工矿自动化, 2010, 36(7):75-78.

CAI Chong. Discussion on realization mode of wind electricity gas locking in coal mine safety monitoring system [J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(7):75-78.

[12] 王志斌, 孙彦景, 刘卫东, 等. 基于 CPS 的风电瓦斯闭锁系统建模仿真[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9):80-84.

WANG Zhibin, SUN Yanjing, LIU Weidong, et al. Modeling and simulation of ventilation, electric power and gas interlock system based on CPD [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(9):80-84.

[13] 杨亚江, 李国阳, 韦巍. 基于 SPI 总线技术的双 CPU 系统设计在多路电能表电量采集器中的应用[J]. 机电工程, 2002(5):41-44.

YANG Yajiang, LI Guoyang, WEI Wei. Application of double CPU system with SPI technique in multiply-lines electric energy collection [J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2002(5):41-44.

[14] 郎琦. 高瓦斯突出矿井风电瓦斯闭锁功能的实现[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(9):54-57.

LANG Qi. Realization of ventilation, electricity and gas close lock function in high gassy and coal and gas outburst mine [J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(9):54-57.