

文章编号: 1671-251X(2022)06-0154-05

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2022020007

# 煤矿安全监控系统逻辑控制自动 检测装置设计

陈向飞<sup>1,2</sup>

(1. 中煤科工集团常州研究院有限公司, 江苏 常州 213015;

2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)

**摘要:** 煤矿安全监控系统逻辑控制检测包括控制(断电、闭锁)是否正确执行和控制执行时间是否达标两项。由于不同厂家的监控系统通信机制、通信协议各不相同,难以实现系统逻辑控制功能标准化检测,且人工检测效率低、误差大。为解决上述问题,在分析行业标准和安标检测要求的基础上,设计了一种煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置。该装置不受通信协议及总线形式限制,通过串口通信方式控制多台传感器发出闭锁信号,同时通过 I/O 接口采集系统逻辑控制执行结果(断路器是否断电),记录闭锁信号发生时刻及逻辑控制执行结果发生时刻,从而判定系统逻辑控制执行时间,并在每条逻辑控制执行之后恢复各传感器及断路器到初始状态。测试结果表明:该装置能可靠、准确地检测控制执行时间;当测试近 300 条控制逻辑时,自动检测时间约为 2 h,提高了检测效率。

**关键词:** 煤矿安全监控系统; 逻辑控制检测; 断电; 甲烷风电闭锁; 煤与瓦斯突出闭锁; 甲烷超限闭锁  
中图分类号: TD76 文献标志码: A

Design of coal mine safety monitoring system logical control automatic detection device

CHEN Xiangfei<sup>1,2</sup>

(1. CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;

2. Tiandi(Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

**Abstract:** The logical control detection of coal mine safety monitoring system includes whether the control (power off, interlocking) is executed correctly and whether the control execution time reaches the standard. Because the communication mechanism and communication protocol of monitoring system from different manufacturers are different, it is difficult to realize the standardized detection of system logical control function. And the manual detection efficiency is low and the error is large. In order to solve the above problems, based on the analysis of industry standards and safety standard detection requirements, a coal mine safety monitoring system logical control automatic detection device is designed. The device is not limited by a communication protocol and a bus form. It controls multiple sensors to send out interlocking signals in a serial port communication mode. At the same time, I/O interface is used to collect the execution results of system logical control (whether the circuit breaker is powered off). The device records the generation time of the interlocking signals and the generation time of the logical control execution result so as to determine the logical control execution time of the system. The device restores each sensor and the breaker to an initial state after each logical control is executed. The test results show that the device can detect the control execution time reliably and

收稿日期: 2022-02-07; 修回日期: 2022-06-06; 责任编辑: 盛男。

基金项目: 中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项(2020-ZD005); 天地(常州)自动化股份有限公司研发项目(2020GY111)。

作者简介: 陈向飞(1987—), 男, 河南南阳人, 工程师, 硕士, 现主要从事煤矿安全监控系统研发工作, E-mail: 286783422@qq.com。

引用格式: 陈向飞. 煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置设计[J]. 工矿自动化, 2022, 48(6): 154-158.

CHEN Xiangfei. Design of coal mine safety monitoring system logical control automatic detection device[J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48(6): 154-158.



扫码移动阅读

accurately. When testing nearly 300 logical controls, the automatic detection time is about 2 hours, which improves the detection efficiency.

**Key words:** coal mine safety monitoring system; logical control detection; power off; methane wind power interlocking; coal and gas outburst interlocking; methane over limit interlocking

## 0 引言

煤矿安全监控系统逻辑控制的可靠性直接关系到井下工作人员生命安全<sup>[1-2]</sup>,是衡量系统性能的关键技术指标。因此,需要对煤矿安全监控系统逻辑控制进行检测,包括控制(断电、闭锁)是否正确执行和控制执行时间是否达标两项。煤矿安全监控系统升级改造前,分站和传感器之间多为模拟信号传输,传感器通过频率或电流表示信号大小,通过示波器能直观地识别传感器超限及控制(断路器)执行情况,使用秒表等简单计时设备即可实现控制执行计时<sup>[3]</sup>。随着煤矿安全监控系统数字化升级改造推行<sup>[4-5]</sup>,分站与传感器之间多采用RS485,CAN等总线传输方式,且不同厂家的监控系统通信机制、通信协议各不相同,无法通过示波器观测波形等手段实现控制执行计时,因此对煤矿安全监控系统逻辑控制功能标准化检测造成了极大困难。同时,AQ 6201—2019《煤矿安全监控系统通用技术要求》新增了对煤与瓦斯突出报警和断电闭锁功能的要求,需要测试近300条控制逻辑,若采用人工检测会造成效率低、误差大等问题。本文研制了煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置,可自动控制传感器发出闭锁信号,采集控制执行情况,并自动判定控制执行时间是否达标,从而满足厂家和安标中心对煤矿安全监控系统逻辑控制功能的标准化检测需求。

## 1 装置设计依据

### 1.1 行业标准要求

根据AQ 6201—2019中5.5.2节,煤矿安全监控系统逻辑控制分为甲烷超限或故障闭锁、甲烷风电闭锁和煤与瓦斯突出闭锁3个部分,各部分包含的传感器、断路器数量不等;结合AQ 1029—2019《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》规定,各传感器的控制条件也不相同。为了满足各应用场景检测,需要对控制的传感器、断路器数量和传感器控制条件进行统计分析。

(1) 甲烷超限或故障闭锁。涉及各位置的甲烷传感器、断路器各1台。传感器控制条件只涉及甲烷传感器超限或传感器故障,根据AQ 1029—2019中6.1.2节,甲烷传感器超限浓度有4种,则检测装置

只需控制传感器产生4种超限浓度对应的闭锁信号或发生故障,即可满足甲烷超限或故障闭锁检测需求。

(2) 甲烷风电闭锁。涉及多台传感器及断路器,其中最复杂应用为“三分闭锁”(当局部通风机停止运转、掘进工作面或回风流中甲烷体积分数大于3.0%时,对局部通风机进行闭锁),同时甲烷传感器在普通超限条件下需控制除局部通风机外的非本安设备,因此检测装置需控制的断路器至少为2台,传感器数量及相应的控制条件见表1。

表1 甲烷风电闭锁检测涉及的传感器及控制条件

Table 1 Sensors and control conditions related to methane wind electric interlocking detection

传感器	控制条件
掘进工作面甲烷传感器	体积分数达到1.5%;体积分数达到3.0%;故障
掘进工作面回风流甲烷传感器	体积分数达到1.5%;体积分数达到3.0%;故障
被串掘进工作面进风流甲烷传感器	体积分数达到0.5%;故障
局部通风机开停传感器或风筒风量传感器	局部通风机停止运转;风筒风量低于规定值

(3) 煤与瓦斯突出闭锁。涉及多台传感器和2台断路器(掘进工作面和采煤工作面各1台)。传感器控制条件:掘进工作面甲烷浓度迅速升高且风速不低于正常值;掘进工作面甲烷浓度迅速升高且风流逆转;掘进工作面甲烷浓度迅速升高且回风流、进风流甲烷浓度迅速升高;采煤工作面甲烷浓度迅速升高且风速不低于正常值;采煤工作面甲烷浓度迅速升高且风流逆转;采煤工作面甲烷浓度迅速升高且回风流、进风流甲烷浓度迅速升高。以掘进工作面甲烷浓度迅速升高且风速不低于正常值为例,检测装置需要控制的传感器及控制条件见表2。

表2 煤与瓦斯突出闭锁检测涉及的传感器及控制条件

Table 2 Sensors and control conditions related to coal and gas outburst interlocking detection

传感器	控制条件
掘进工作面甲烷传感器	故障;浓度迅速升高;体积分数达到1.0%
掘进巷道回风流甲烷传感器	浓度迅速升高;体积分数达到1.0%
掘进巷道回风流风速传感器	风速不低于正常值

通过分析行业标准要求,煤矿安全监控系统逻辑控制检测所涉及的传感器包含各位置甲烷传感

器、风速传感器、风向传感器、风量传感器及局部通风机开停传感器等,通过整合各位置传感器,实现系统逻辑控制需传感器 8~16 台、断路器 2 台以上。每类传感器逻辑控制条件不同,其中甲烷传感器逻辑控制条件较多,主要包括故障,浓度迅速升高,体积分数分别达到 0.5%、1.0%、1.5%、3.0%,浓度正常;风速传感器逻辑控制条件主要为风速低于正常值或正常状态;风向传感器逻辑控制条件包括风向逆转或正常状态;局部通风机开停传感器逻辑控制条件包括停止或正常状态。

### 1.2 安标检测要求

煤矿安全监控系统逻辑控制检测分为本地逻辑控制检测和异地逻辑控制检测<sup>[6-9]</sup>。若检测现场非本安设备较多,则所需断路器较多,易造成现场应用设置复杂。为提高煤矿安全监控系统逻辑控制功能检测的可靠性,在行业标准规定的逻辑控制基础上,安标检测增加了复杂应用场景的逻辑控制检测,具体见表 3。

表 3 煤矿安全监控系统逻辑控制模式及控制执行时间判定  
Table 3 Logical control mode and control execution time determination of coal mine safety monitoring system

控制模式	控制执行时间判定
单台传感器对应单台断路器	传感器达到控制条件时开始计时,断路器断电则结束计时
单台传感器对应多台断路器	传感器达到控制条件时开始计时,所有断路器均断电则结束计时
多台传感器对应单台断路器	第1台传感器达到控制条件时开始计时,断路器断电则结束计时
多台传感器对应多台断路器	第1台传感器达到控制条件时开始计时,所有断路器断电则结束计时

## 2 装置工作原理及功能

### 2.1 装置工作原理

煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置工作原理如图 1 所示。该装置不受通信协议及总线形式限制,通过控制多台传感器发出相应的闭锁信号,采集监控系统逻辑控制结果(断路器是否断电),记录闭锁信号发生时刻及逻辑控制执行结果发生时刻,从而判定逻辑控制是否正常执行及逻辑控制执行时间是否达标。

### 2.2 装置功能

(1) 闭锁信号控制功能。为提高时效性,煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置采用串口通信方式,通过数字信号可同时控制 8~16 台传感器产生相应闭锁信号,闭锁信号包括各类传感器的多种逻辑控制条件。

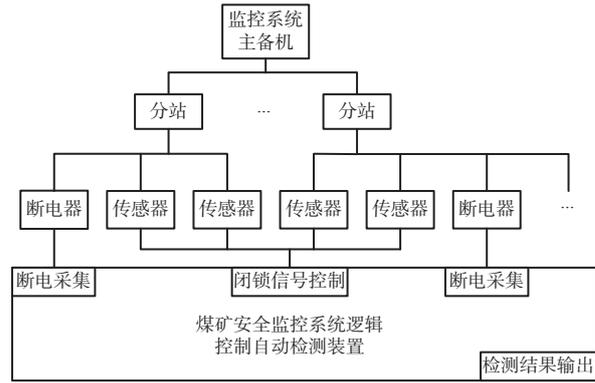


图 1 煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置工作原理  
Fig. 1 Working principle of logical control automatic detection device for coal mine safety monitoring system

(2) 控制结果采集功能。根据装置设计依据,需在 2 台以上分站设置断路器,每台分站上的断路器不少于 4 台,因此装置通过 8 个端口采集断路器状态,判断系统逻辑控制是否执行。

(3) 控制执行时间判定功能。传感器是在接收到装置发送的控制命令后输出相应闭锁信号,考虑到装置发送控制命令到传感器产生闭锁信号有一定的时间间隔,因此控制执行时间是从装置发送完控制命令后开始计时,最后一台断路器断电后结束计时,根据开始计时时刻与最后的断电时刻,判定系统逻辑控制执行时间。

(4) 人机交互及显示功能。实现对煤矿安全监控系统各项逻辑控制检测的配置,包括传感器地址设置、断路器控制采集端口设置等,同时可展示及输出检测结果。

(5) 自动检测功能。为提高检测效率,通过对逻辑控制检测项目进行设置并装载,装置顺序执行相应的控制逻辑,并在每条逻辑控制执行之后恢复各传感器及断路器到初始状态。

## 3 装置设计

### 3.1 装置软件

煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置软件采用抢占式、实时多任务内核的 FreeRTOS 实时操作系统,可实现多任务并发处理<sup>[10]</sup>。装置软件程序通过创建多任务来实现不同功能模块化设计,包括串口通信任务、控制结果采集任务、控制执行时间计时任务、显示屏显示任务、人机交互任务、本地控制任务、异地控制任务、风电瓦斯闭锁控制任务、煤与瓦斯突出闭锁控制任务等。各任务之间通过信号量形式实现调度,从而降低 CPU 使用率,提高程序的实时性和控制执行时间计时的精准性。

煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置软件

流程如图2所示。

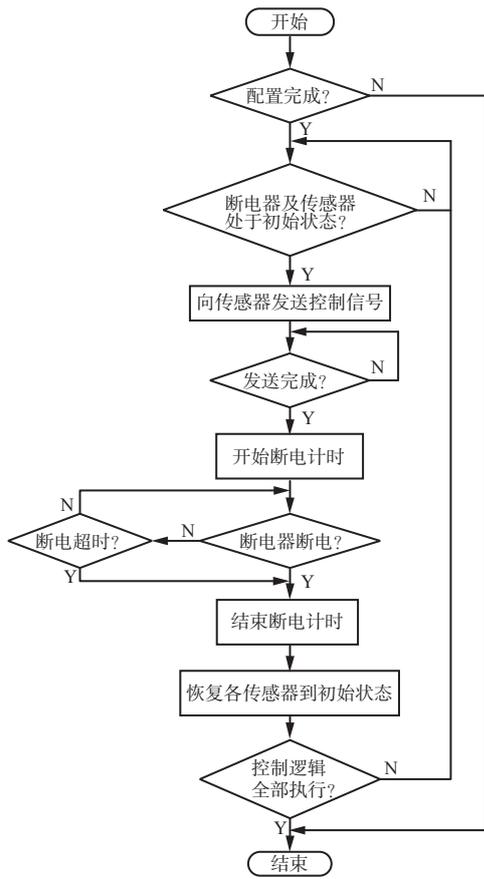


图2 煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置软件流程

Fig. 2 Software flow of logic control automatic detection device for coal mine safety monitoring system

### 3.2 装置硬件

由于装置最多需控制16台传感器,为减少控制命令发送耗时,设计2个UART串口输出TTL信号,每个UART串口对应控制8台传感器。通过I/O接口采集断路器状态。采用分辨率为128×64的液晶显示屏,人机交互采用按键或红外遥控方式。CPU采用外设资源(串口及GPIO接口)丰富的STM32F1系列单片机。

### 3.3 装置操作面板

为方便操作,设计了煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测操作面板,结构如图3所示,用于显示、人机交互及接线等。

## 4 装置测试

在煤矿安全监控系统满足行业标准要求的运行测试条件下,将涉及逻辑控制的传感器和断路器接入煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置,并在装置中配置相关传感器地址和断路器接入的端口号,同时在煤矿安全监控系统上位机软件中配置相应的断电控制逻辑。

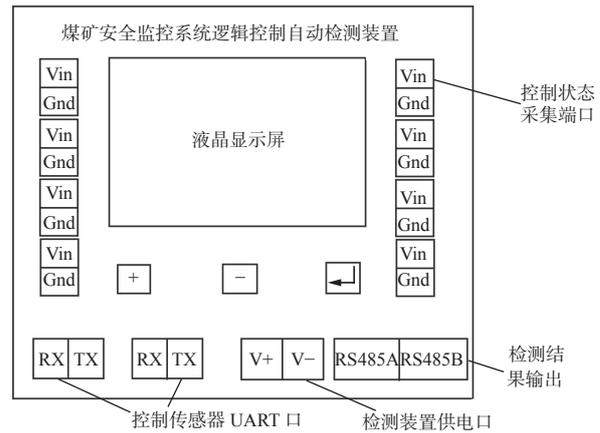


图3 煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置操作面板结构

Fig. 3 Operating panel structure of logic control automatic detection device for coal mine safety monitoring system

为保证测试的可靠性及真实性,传感器和断路器所在分站通道需满载,此时通信负荷最大,才能测出最大控制执行时间。针对甲烷超限逻辑控制(单台传感器对应单台断路器)执行时间进行测试,人工检测(多次测量取平均值)和自动检测结果见表4,可看出两者的控制执行时间基本一致,表明自动检测装置判定的控制执行时间可靠、准确。

表4 控制执行时间对比

Table 4 Control execution time comparison

断电模式	人工检测	自动检测
本地断电	0.45	0.46
异地断电	1.32	1.25

针对煤矿安全监控系统所有逻辑控制进行测试。当采用人工检测时,每条控制逻辑需要人工设置传感器输出闭锁信号,系统输出相应的控制执行结果,人工记录控制执行时间,最后需要人工将传感器恢复到初始状态。经综合测算,人工检测每条控制逻辑需要10 min,由于煤矿安全监控系统需测试近300条控制逻辑,人工检测时间约为50 h。当采用自动检测装置检测时,根据实际采煤工作面煤与瓦斯突出检测结果(图4),每条控制逻辑自动检测时间为15 s左右,加上装置、上位机设置的时间,自动检测装置总体检测时间约为2 h,与人工检测相比显著提高了检测效率。

## 5 结语

煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测装置控制传感器输出闭锁信号,采集断路器断电状态,计算控制执行时间,从而实现煤矿安全监控系统逻辑控制自动检测。测试结果表明,该装置能可靠、准确地检测控制执行时间,提高了检测效率。

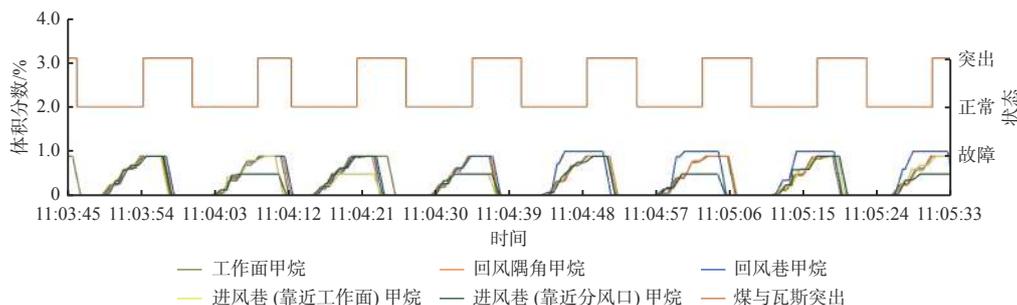


图 4 煤与瓦斯突出检测结果

Fig. 4 Coal and gas outburst detection results

参考文献(References):

[1] 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 of realization method of gas locking for ventilation and power supply of safety monitoring and control system of coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(7): 75-78.

[2] 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): 85-86,90.  
HAO Hongwei. Design of methane and wind power lockout for double roadway driving in coal mine[J]. Coal Mine Modernization, 2020(1): 85-86,90.

[3] 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.

[4] 任吉凯, 路培超, 杨相玉. 浅析“煤矿安全监控系统升级改造技术方案”[J]. 山东工业技术, 2017(15): 47.  
REN Jikai, LU Peichao, YANG Xiangyu. Analysis of 'Technical Scheme for Upgrading and Reforming Coal Mine Safety Monitoring System'[J]. Shandong Industrial Technology, 2017(15): 47.

[5] 汪丛笑. 煤矿安全监控系统升级改造及关键技术研究[J]. 工矿自动化, 2017, 43(2): 1-6.  
WANG Congxiao. Research on upgrading of coal mine safety monitoring and control system and its key technologies[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(2): 1-6.

[6] 王乐军. 数字式安全监控系统关键参数检测装置设

计[J]. 电子设计工程, 2022, 30(8): 76-81.  
WANG Lejun. Design of key parameters' detection device for digital safety monitoring system[J]. Electronic Design Engineering, 2022, 30(8): 76-81.

[7] 汪学明, 徐娟, 张立斌, 等. 煤矿井下监控分站在线性检测装置的设计[J]. 工矿自动化, 2010, 36(1): 6-8.  
WANG Xueming, XU Juan, ZHANG Libin, et al. Design of on-line parameters' detection device for underground monitoring substation[J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(1): 6-8.

[8] 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.

[9] 刘炎. 缩短煤矿安全监控系统异地控制时间的方法研究[C]//第24届全国煤矿自动化与信息化学术会议暨第6届中国煤矿信息化与自动化高层论坛论文集, 太原, 2014: 37-42.  
LIU Yan. Research on method of shortening remote control time of coal mine safety monitoring system[C]//The 24th National Coal Mine Automation and Informatization Academic Conference and the 6th China Coal Mine Informatization and Automation High-level Forum Proceedings, Taiyuan, 2014: 37-42.

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

(上接第 153 页)

[14] 邓朝福, 刘建锋, 徐慧宁, 等. 单轴加载条件下岩盐变形过程能量和声发射特征研究[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(增刊2): 150-156.  
DENG Chaofu, LIU Jianfeng, XU Huining, et al. Study on energy and acoustic emission characteristics of rock salt under uniaxial loading and unloading conditions[J]. Advanced Engineering Sciences, 2017, 49(S2): 150-156.

[15] 李化敏, 李回贵, 宋桂军, 等. 神东矿区煤系地层岩石物理力学性质[J]. 煤炭学报, 2016, 41(11): 2661-2671.

LI Huamin, LI Huigui, SONG Guijun, et al. Physical and mechanical properties of the coal-bearing strata rock in Shendong coal field[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(11): 2661-2671.

[16] 李果, 艾婷, 于斌, 等. 不同岩性巴西劈裂试验的声发射特征[J]. 煤炭学报, 2015, 40(4): 870-881.  
LI Guo, AI Ting, YU Bin, et al. Acoustic emission characteristics of different lithologies under Brazilian splitting[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(4): 870-881.