



文章编号:1671-251X(2014)09-0001-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.09.001

蒋春悦,田慕琴,宋建成,等. 自动化工作面液压支架控制器设计[J]. 工矿自动化,2014,40(9):1-5.

自动化工作面液压支架控制器设计

蒋春悦, 田慕琴, 宋建成, 许春雨, 杨世华, 柴文, 杨栋, 董光拽

(1. 太原理工大学 煤矿电气设备与智能控制山西省重点实验室, 山西 太原 030024;

2. 山西晋城无烟煤矿业集团有限公司, 山西 晋城 048000)

摘要:针对目前大多数煤矿仍采用手动方式操控液压支架控制器而导致作业效率低、操作安全性差等问题,介绍了一种自动化工作面液压支架控制器的硬件设计方案,重点阐述了该控制器集控功能及自诊断功能的实现方案。该控制器采用双控制核心结构及双RS485总线通信模式,可对液压支架顶板压力、推溜位移、采煤机位置等信息进行实时监测、处理及上传;可根据端头控制器发来的工艺指令自动跟踪采煤机,完成自动拉架、自动推溜等自动化采煤作业流程;采用I²C总线通信方式实现了自诊断功能,可实时监测并修正液压支架的故障动作信号。地面工业性试验及故障模拟实验验证了该控制器设计方案的正确性。

关键词:综采工作面; 自动化工作面; 液压支架; 电液控制; 自动拉架; 自动推溜; 自诊断

中图分类号:TD355.4 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of hydraulic support controller for automatic working face

JIANG Chunyue, TIAN Muqin, SONG Jiancheng, XU Chunyu, YANG Shihua,
CHAI Wen, YANG Dong, DONG Guangzhuai

(1. Shanxi Key Laboratory of Mining Electrical Equipment and Intelligent Control, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Shanxi Jincheng Anthracite Mining Group, Jincheng 048000, China)

Abstract: For problem that hydraulic support controller was operated manually in most coal mines at present, which led to low working efficiency and poor operation safety, a hardware design scheme of hydraulic support controller for automatic working face was introduced, and realization schemes of centralized control function and self-diagnosis function of the controller were expounded. The controller, which adopts dual controlling cores and communication mode of dual RS485 buses, can monitor, process and upload information real-timely including roof pressure of hydraulic support, pushing displacement and position of shearer, and realize automatic shearer tracking, support pulling and support pushing according to technical command from terminal controller. The controller also realizes self-diagnosis function by use of communication mode of I²C bus, which can real-timely monitor and correct fault action signals of hydraulic support. The results of industrial test on the ground and fault simulation experiment verify correctness of design scheme of the controller.

Key words: fully-mechanized working face; automatic working face; hydraulic support; electrohydraulic control; automatic support pulling; automatic support pushing; self-diagnosis

收稿日期:2013-12-25;修回日期:2014-07-11;责任编辑:李明。

基金项目:国际科技合作计划资助项目(052013ZR0493);山西省重大科技专项资助项目(20111101024)。

作者简介:蒋春悦(1987—),男,河北承德人,硕士研究生,研究方向为智能电器,E-mail: jiangchunyuell1@163.com。

0 引言

目前中国国有大型煤矿综采工作面支护装置一般由上百台液压支架组成,基本上都使用电液控制系统控制,但仍需要操作人员对邻近液压支架进行手动操控,耗费大量人力,且作业效率较低,操作人员的人身安全也无法得到完全保障^[1]。

中国煤炭工业发展“十二五”规划明确指出,要大力提高煤矿装备现代化、系统智能化、生产自动化水平。而液压支架控制器是实现自动化工作面的关键装备,其自动化水平和运行性能是实现自动化采煤作业的关键因素。因此,在自动化采煤作业中对液压支架控制器动作执行情况进行实时监测显得尤为重要。目前大量应用的进口液压支架控制器均不具备该功能。

笔者根据自动化工作面作业要求^[2],开发了一套可实现自动追机拉架采煤作业流程的液压支架控制器,通过集成在控制器内部的 3 路信号采集电路、4 路通信总线和 10 路电磁阀驱动电路,实现信号采集、数据上传和支架控制等功能。该控制器可根据端头控制器发来的工艺指令自动跟踪采煤机,完成自动拉架、自动推溜等自动化采煤作业流程。此外,该控制器集成了基于 I²C 通信方式的自诊断电路,可实现对液压支架动作的实时检测和闭环控制功能。

1 液压支架电液控制系统结构

控制器是液压支架电液控制系统的一部分。在手动模式下,操作人员通过某一台控制器间接操控左右相邻的控制器,因此将该控制器命名为间架控制器。

自动化工作面液压支架电液控制系统由集控计算机、端头控制器、间架控制器构成,如图 1 所示。间架控制器是系统主体环节,直接与液压支架电磁阀连接,可控制液压支架执行各种动作,采集并处理液压支架的立柱压力等信号,实现人机交互等功能。间架控制器内部采用双核、4 通信总线结构。间架控制器之间的操作方式为就地控制模式,该控制模式采用接口 CPU(Central Processing Unit,中央处理单元)的 RS485 总线传输数据,间架控制器可根据需要在主机模式和从机模式间切换。间架控制器作为从机时,以并联方式接入端头控制器的 RS485 总线。端头控制器和间架控制器通过双 RS485 总线连接,分别完成参数上传和集中控制命令下达任

务。端头控制器和集控计算机之间以 Modbus 协议方式连接,在集控计算机平台可实时监测系统运行状态。

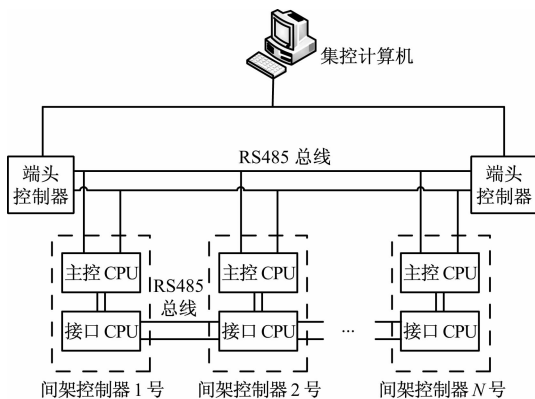


图 1 液压支架电液控制系统结构

2 间架控制器硬件设计

2.1 硬件结构

间架控制器硬件结构如图 2 所示。间架控制器内部为双控制核心结构,CPU 选用 C8051 系列单片机^[3]。接口 CPU 实现键盘输入、数据显示、邻架通信等功能。主控 CPU 实现动作输出、传感器信号采集、与端头控制器通信、I²C 动作检测以及数据存储等功能。2 片 CPU 通过 SPI 总线连接。

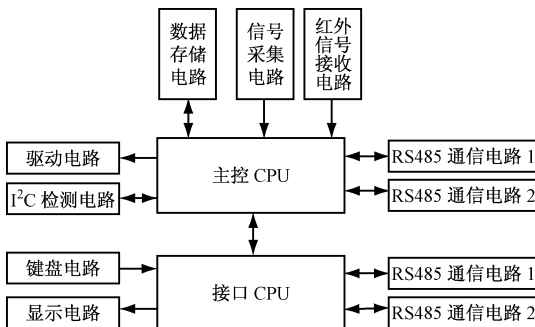


图 2 间架控制器硬件结构

2.2 RS485 通信电路

间架控制器的核心部分为 RS485 通信电路。间架控制器之间通过该电路通信。为适应井下湿度大、灰尘多、干扰强的恶劣环境,设计了具有强抗干扰能力的 RS485 通信电路,如图 3 所示。

RS485 通信电路由光耦隔离电路、MAX485 收发芯片、失效保护电路以及防高压侵入电路组成。

光耦隔离电路由光电耦合器、限流电阻、上拉电阻等组成。图 3 中,U₁₄,U₁₅,U₁₆ 为 PC 系列快速低功耗光电耦合器,其单字节发送时间为 3 μs,可在 -40~125 ℃ 环境下稳定运行,电压识别范围宽,满足井下使用需求。该电路除传输数据外,还可起到

隔离保护作用。

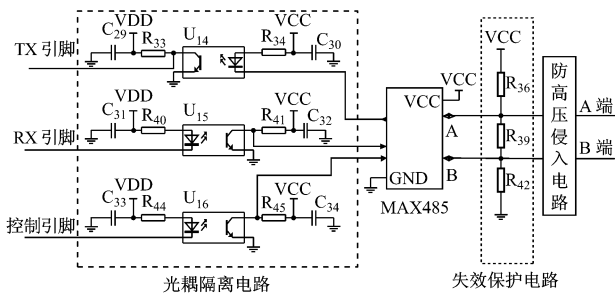


图 3 RS485 通信电路

失效保护电路是在 MAX485 输出端 A,B 之间跨接匹配电阻 R_{39} ,并分别在 A,B 端增加上拉电阻 R_{36} 和下拉电阻 R_{42} ,从而有效抑制错误数据的接收^[4-5]。

防高压侵入电路是在 MAX485 输出端 A,B 之间跨接 TVS(Transient Voltage Suppressor,瞬态抑制二极管),然后在输出端口之间接玻璃防雷管,从而消除线性浪涌干扰。

2.3 信号采集电路

为检测液压支架的动作状态,间架控制器集成了 3 路高精度模拟量信号采集电路,包括 2 路压力信号采集电路和 1 路位移信号采集电路,可实时检测四立柱液压支架的前立柱压力、后立柱压力和推溜位移。间架控制器根据采集到的模拟量数据和端头控制器命令执行自动追机拉架动作。模拟量信号采集电路结构如图 4 所示。

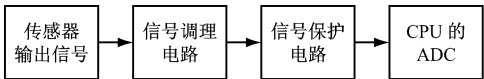


图 4 模拟量信号采集电路结构

图 4 中,信号调理电路首先对输入的模拟量信号进行放大、滤波等处理,提高信号的抗干扰能力。信号调理电路中集成了运算放大器,起电压信号跟随作用,可有效提高输入阻抗,降低输出阻抗,使输出电压更加稳定,提高间架控制器的带载能力。信号保护电路是在信号线接入上拉箝位二极管和下拉接地箝位二极管,将信号电压限制在 $0\sim 3.3\text{ V}$,满足 CPU 对输入信号的要求($0\sim 5\text{ V DC}$)。

2.4 红外信号接收电路

红外信号接收电路通过 PT 系列解码芯片读取有效红外信号,比依据红外线辐照度原理识别位置信号的传感器更加准确,实时性更好。红外信号接收电路如图 5 所示。该电路采用 CMOS 工艺制造的低功耗、低价位、通用型 PT2272 编解码芯片,最多可提供 53 441 bit 地址码。 V_1,V_2,V_3 分别为红

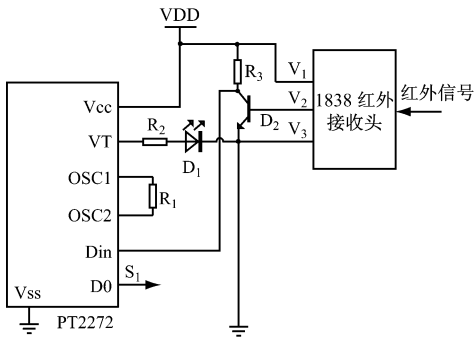


图 5 红外信号接收电路

外信号接收电路的电源端、信号端和接地端。红外信号经 1838 红外接收头转换为 3.3 V 电压信号(V_2 输出),通过 D_2 进入 PT2272。PT2272 通过解码确认该信号为有效位置信号时,通过 $D0$ 口将信号发送到主控 CPU,完成采煤机位置识别。

3 间架控制器集控功能设计

根据古书院矿 152304 号综采工作面采煤工艺流程设计自动化工作面液压支架集控策略。该工作面全长 183 m,设计采高为 2.4 m,采用 122 台 ZZ8800-14/26D 型四立柱液压支架。支架共有 5 组动作,分别为升前柱/升后柱、降前柱/降后柱、推溜/拉架、提底/喷雾、伸侧护/收侧护。自动采煤工艺流程如图 6 所示。

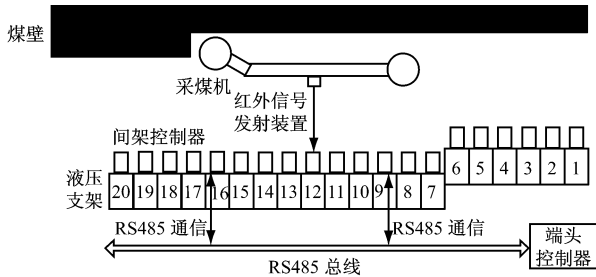


图 6 自动采煤工艺流程

基于间架控制器的液压支架集控作业流程根据采煤机运行位置实施。采煤机中心位置安装红外信号发射装置,实时向间架控制器发射红外位置信号。间架控制器接收到该信号后将其存入主控 CPU。端头控制器和间架控制器之间以主从查询通信方式传递数据,当端头控制器向间架控制器索取数据时,间架控制器将采煤机位置信号、液压支架压力信号和推溜位移信号上传至端头控制器,端头控制器按照既定采煤工艺,结合采煤机位置向间架控制器下达控制命令。间架控制器和端头控制器之间的数据交换周期为 1 s,满足采煤作业实时性要求。

间架控制器接收到端头控制器命令后开始执行

自动追机拉架作业。首先降前后柱,根据压力传感器信号判断液压支架是否脱离顶板,当压力信号小于 5 MPa 时,认为液压支架已脱离顶板;随后开始提底并拉架,将液压支架拉向刮板输送机,通过安装在推移油缸中的位移传感器判断是否拉架到位;最后执行升柱动作,根据古书院矿 152304 号工作面煤质情况,设定压力信号为 24 MPa 时达到顶板支护压力,此时停止升前后柱,完成追机拉架作业。该自动追机拉架作业过程需要压力传感器、位移传感器以及定时器配合完成,流程如图 7 所示。

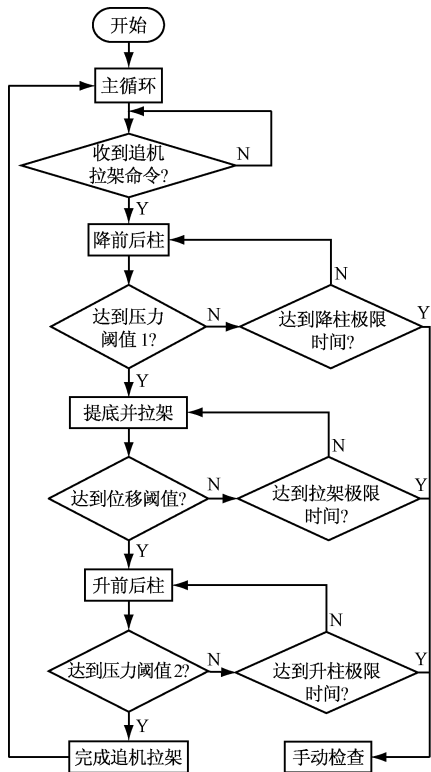


图 7 自动追机拉架流程

从图 7 可看出,间架控制器的动作控制不能将传感器信号作为唯一判断依据。一旦传感器出现故障,则无法上传正确模拟量数据,可能出现动作实际已经到位但不能停止的情况。为避免该类事故的发生,使用模拟量和时间参数双阈值判断模式,2 个参数中的任意一个达到阈值则立即终止动作。考虑到乳化液泵站压力标准不统一,导致支架动作速度不同,设计了间架控制器的时间参数修改功能,以适应不同环境的需要。

4 间架控制器自诊断功能设计

目前市场上主流的间架控制器均不具备自诊断功能,无法完成动作监测及闭环控制功能。本文介绍的间架控制器基于 I²C 通信方式,具有实时监控

功能,可有效降低动作故障的发生率。

I²C 总线由串行数据线(SDA)和串行时钟线(SCL)2 条总线组成,具有接口线少、控制方式简单、器件封装形式小等优点。每个连接到 I²C 总线的器件都可以通过唯一的地址编码被识别,其串行 8 bit 双向数据传输速率在标准模式下可达 100 kbit/s^[6-7]。

间架控制器的自诊断功能采用 TCA6416 型 I/O 口扩展芯片设计。该芯片基于 I²C 总线,功耗低,电压范围为 1.6~5.5 V,有中断和扫描 2 种通信模式。TCA6416 可外扩 16 个 I/O 口,通过 2 根通信线监测多达 16 个动作状态,极大地节约了 I/O 口资源。

间架控制器自诊断电路如图 8 所示。该电路由 2 片 TCA6416(U₁,U₂)及外围设备构成。U₁ 为动作检测芯片,通过线路 1 采集电磁阀动作信号,将 10 种动作信号以并行信号形式传输到 P0.0—P1.1 的 10 个扩展 I/O 口,再将信号转换为 16 进制数据,以中断方式向主控 CPU 发送串行数据。该数据要表示 10 个输出量的信息,需要 2 个 8 Byte 数据。当主控 CPU 接收到动作检测信号后,将其与接口 CPU 发送的控制代码进行对比,检测动作执行效果。一旦出现主控 CPU 的动作检测信号和接口电路输出的控制信号不相符情况,主控 CPU 立刻通过 U₂(动作修正芯片)将正确的动作命令发送到电磁阀接口,及时纠正动作,保证液压支架电液控制系统可靠运行。间架控制器自诊断流程如图 9 所示。

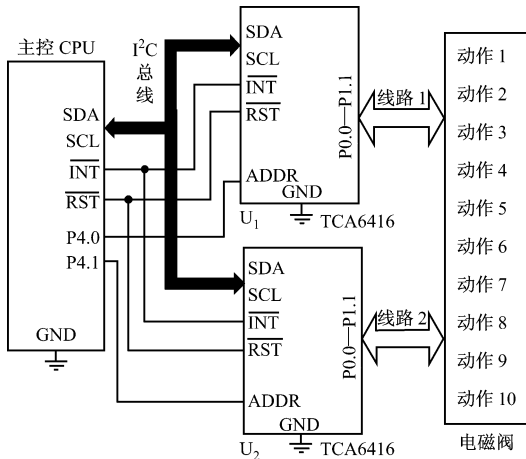


图 8 间架控制器自诊断电路

为了检验间架控制器自诊断电路的性能,在 IDE(Integrated Development Environment,集成开发环境)软件平台采用 C 语言编程进行模拟实验,观察间架控制器自诊断电路在有错误信号输出的情

况下,能否及时检测并修正错误动作。实验数据如图 10 所示。

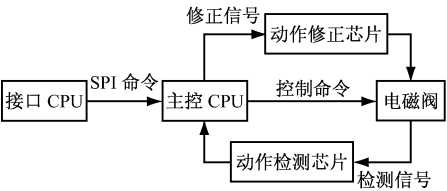


图 9 间架控制器自诊断流程

Name	Value	Name	Value
□ signal	0x02	□ action	0x02
..... signal[0]	0xcc	 action[0]	0x00
..... signal[1]	0xcc	 action[1]	0x00
..... signal[2]	0x00	 action[2]	0xcc
..... signal[3]	0x00	 action[3]	0xcc
..... signal[4]	0x00	 action[4]	0x00
..... signal[5]	0x00	 action[5]	0x00
..... signal[6]	0x00	 action[6]	0x00
..... signal[7]	0x00	 action[7]	0x00
..... signal[8]	0x00	 action[8]	0x00
..... signal[9]	0x00	 action[9]	0x00

(a) 接口控制代码

(b) 原始动作代码

Name	Value	Name	Value
□ test	0xaa	□ action	0x02
..... test[0]	0x00	 action[0]	0xcc
..... test[1]	0x00	 action[1]	0xcc
..... test[2]	0xcc	 action[2]	0x00
..... test[3]	0xcc	 action[3]	0x00
..... test[4]	0x00	 action[4]	0x00
..... test[5]	0x00	 action[5]	0x00
..... test[6]	0x00	 action[6]	0x00
..... test[7]	0x00	 action[7]	0x00
..... test[8]	0x00	 action[8]	0x00
..... test[9]	0x00	 action[9]	0x00

(c) I²C 动作检测代码

(d) 动作修正代码

图 10 间架控制器自诊断电路模拟实验数据

实验采用 xdata uchar 型数组变量作为 10 个动作代码存储空间,其中 signal[0]—signal[9]为接口 CPU 原始命令代码,action[0]—action[9]为主控 CPU 动作执行命令代码,test[0]—test[9]为 I²C 动作检测代码。

实验过程:在键盘操作升前后柱动作时,接口 CPU 向主控 CPU 发送动作命令,如图 10(a)所示。代码 0xcc 为有效动作代码,signal[0],signal[1]分别为升前柱、升后柱的动作代码存储空间。在 主控 CPU 中人为修改代码,使代码如图 10(b)所示,并将修改后的代码输出到 I/O 口,驱动电磁阀动作。此时自诊断电路通过扫描电磁阀接口电压状态,得到如图 10(c)所示的 I²C 动作检测代码。主控 CPU

将 test[0]—test[9]与 signal[0]—signal[9]对比,发现命令不一致,判断为故障,通过动作修正芯片发送纠正命令,输出正确动作代码,如图 10(d)所示,从而实现了液压支架动作的闭环控制。

实验结果表明,间架控制器自诊断电路可有效监测液压支架动作,并能及时修正故障信号,提高了间架控制器的准确性。

5 结语

(1) 根据综采工作面自动化采煤作业的要求,设计并实现了液压支架间架控制器的自动控制功能,采用双 RS485 总线通信和多路传感器信号融合分析技术,并结合液压支架的多参数信息,建立了液压支架自动追机拉架工艺流程模型,实现了综采工作面采煤过程的集控功能,并成功进行了地面工业性试验。

(2) 针对目前液压支架电液控制系统均不具备动作自诊断功能,系统运行安全性无法得到完全保证的现状,采用 I²C 总线通信技术设计并开发了间架控制器的自诊断功能,实现了对间架控制器输出动作的精确、完整闭环控制,提高了控制器的准确性和容错性。故障模拟实验结果验证了自诊断功能的可行性和可靠性。

参考文献:

[1] 朱金雨,李国莲. 液压支架跟机自动化系统设计[J]. 工矿自动化,2013, 39(12):1-4.

[2] 孙继平. 煤矿自动化与信息化技术回顾与展望[J]. 工矿自动化,2010,36(6):26-30.

[3] 潘琢金,施国君. C8051F020 高速 SOC 单片机原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002: 43-45.

[4] 李磊,宋建成,田慕琴,等. 基于 DSP 和 RS485 总线的液压支架电液控制通信系统的设计[J]. 煤炭学报, 2010,35(4):701-704.

[5] 赵端,纵鑫. 基于 ZigBee 技术的井下液压支架压力监测系统[J]. 工矿自动化,2014, 40(1):31-34.

[6] 李朝晖,陈炳林,张河. 基于 I²C 总线的压力测控系统[J]. 半导体技术,2004(5):97-98.

[7] BRUCE J W, GRAY M A, FOLLETT R F. Personal digital assistant (PDA) based I²C bus analysis[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4):1482-1487.