



移动扫码阅读

方 鹏,姚 克,王 松,等.煤矿井下定向钻机钻进参数监测系统研制[J].煤炭科学技术,2019,47(12): 124-130.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.017

FANG Peng, YAO Ke, WANG Song, *et al.* Development of drilling parameter monitoring system for directional drilling rig in coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(12): 124-130.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.017

煤矿井下定向钻机钻进参数监测系统研制

方 鹏,姚 克,王 松,赵 良

(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710077)

摘 要:针对煤矿坑道用全液压定向钻机无法直接实现参数监测、实时存储和集中显示的问题,为满足煤矿井下定向钻进过程精确控制和钻进参数优化需求,基于通用性、稳定性和可拓展性的开发原则,研制了一款基于 PLC 为主控制核心的煤矿井下定向钻机钻进参数监测系统,具备多种钻进参数实时监测、数据自动存储、远程数据传输、参数图形化显示、工况识别与故障报警等功能。系统进行了工作性能室内对比测试,并在神华神东煤炭集团保德煤矿结合大功率定向钻机开展了现场试验,试验结果表明:该参数监测系统安装快捷,运行稳定,能准确监测钻机运行过程中的各种钻进参数,测量误差小于 1.25%,并实时储存于后台数据库,对钻进过程和钻机运行的异常情况能即时报警,可有效提高钻孔施工质量,预防孔内事故发生,对煤矿井下定向钻进工艺参数优化和钻进理论研究具有重要作用,并为煤矿井下定向钻进装备的机械化、自动化和智能化发展提供了技术保障。

关键词:煤矿井下;定向钻机;参数监测;定向钻进;测量系统

中图分类号:TD41

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)12-0124-07

Development of drilling parameter monitoring system for directional drilling rig in coal mine

FANG Peng, YAO Ke, WANG Song, ZHAO Liang

(Xi'an Research Institute Co., Ltd., China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an 710077, China)

Abstract: According to problem that drilling parameters cannot be directly monitored and stored in real-time and centralized display in the drilling process of full hydraulic tunnel directional drilling rig in coal mine, in order to meet the precise control of directional drilling process and optimization of drilling parameters in coal mine, based on the research purpose of generality, stability and expansibility, the drilling parameter monitoring system for directional drilling rig in coal mine based on PLC is developed, which has many functions such as real-time monitoring of drilling parameters, automatic data storage, remote data transmission, graphical display of parameters, condition recognition and failure alarm. In order to verify performance and reliability of system, a performance test of the system is carried out, after that a field test is carried out combined with high-power directional drilling rig in Baode Coal Mine, Shenhua Shendong Coal Group. The test results show that the parameter monitoring system can be quick installed and stable in operation, and all kinds of drilling parameters can be accurately monitored during the drilling process while the measurement error is less than 1.25%, and the drilling parameters can be stored in the backstage database in real time. At the same time, the system will alarm while the drilling process and condition of the drilling machine are abnormal. The application of the system can effectively improve the quality of drilling borehole and prevent drilling accidents in the borehole, which will play an important role in optimization of technological parameters and theoretical study of directional drilling in coal mine, and provide technical support for mechanization, automation and intelligent development of directional drilling equipment in coal mine.

Key words: underground coal mine; directional drilling rig; parameter monitoring; directional drilling; measurement system

收稿日期:2019-06-12;责任编辑:赵 瑞

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-003);国家自然科学基金资助项目(51774320)

作者简介:方 鹏(1981—),男,湖北武汉人,副研究员,博士研究生。Tel:029-81881654, E-mail:fangpeng@cctegxian.com

0 引言

煤矿井下随钻测量定向钻进技术具有钻孔轨迹可精确测控、目标地层钻遇率高、钻孔深度长等优点,在矿井瓦斯抽采、水害防治、地质异常体探查和防灭火等地质保障领域得到了广泛应用^[1]。定向钻进装备是随钻测量定向钻进技术得以实现的设备基础。自2003年引入该技术以来,国内企业已研制了适合于不同钻孔类型、不同钻进能力的系列化定向钻机,钻进装备水平已达到国际领先水平,基本替代进口产品。尤其是“十二五”期间,在国家油气重大专项支持下开发的12 000 N·m大功率坑道定向钻机钻进能力大于1 500 m,定向钻孔一次成孔直径达到 $\phi 120$ mm,二次扩孔达到 $\phi 153$ mm,有效解决了中硬煤岩层定向长钻孔施工的设备难题,先后创造了1 881 m和2 311 m的世界纪录^[2-3]。

煤矿井下定向钻进装备价格昂贵,钻进过程控制要求较高,但目前国内井下定向钻机仍处于液压传动阶段,主要以功能实现为主,钻进参数通过液压仪表进行显示,且无法存储^[4]。在实际使用中存在以下4个问题:①井下定向钻进以技术人员个人经验为主,存在技术差异且易受疲劳、走神、情绪波动等因素的影响,不利于钻进过程分析和钻进参数优化,无法有效对孔内外异常情况做出预判,导致施工时易发生各种孔内外故障或事故,增加了装备使用维护成本。②井下定向钻进工艺逐步由滑动定向钻进,向复合定向钻进和旋转定向钻进等发展,对转速、转矩、钻速、钻压和泵量等关键钻进参数的控制要求更高,需要更精确的监测控制仪器和手段。③定向钻机机械化程度相对较低,随着钻进能力和钻孔直径的增加,钻进装备体积和质量也随之增加,降低了装备运输、钻机机身调整和钻杆加接装卸等辅助工作的效率,进而降低了综合钻进效率,增加了工人劳动强度和生产成本;④井下定向钻孔施工分散,缺乏相关钻进参数与地面控制中心的实时数据传输,不利于施工情况整体掌握和监控^[5-8]。

同时,煤矿井下定向钻进装备的机械化、自动化和智能化是未来发展趋势,钻进参数监测系统是实现机械化、自动化和智能化钻进的基础^[9-10]。目前国内开发了矿用钻进参数监测系统,主要针对常规钻机,不能满足定向钻机和定向钻进过程控制需要^[11-19]。

基于此,笔者结合定向钻进需要,研制了一款适用于定向钻机的钻进参数监测系统,并在现场进行应用,提高了定向钻进过程的整体控制水平,减少了

孔内事故的发生概率,保障了钻进施工安全。

1 钻进参数检测技术要求

煤矿井下定向钻机与普通钻机不同,其整体结构更复杂、功能更多,对钻进参数检测系统要求也更高。

1)目前煤矿井下定向钻机均采用履带式结构,为满足狭小巷道施工要求,多采用紧凑型分体布局,即由钻车、泥浆泵车和辅助设备组成,钻场布置分散,传感器安装空间小,参数检测方案应合理。

2)目前煤矿井下定向钻进主要采用孔底螺杆马达进行施工,由孔口泥浆泵或泥浆泵车提供的高压水驱动钻进,除对钻机驱动机构进行监测外,应加强供水设备的监测。

3)煤矿井下开发有滑动定向钻进技术与复合定向钻进技术,不同钻进工艺,钻进装备的工作状态不同,钻进参数的监测控制要点不同。同时,煤矿井下定向钻孔的最大深度已超过2 000 m,而普通钻孔的深度一般少于200 m,深孔钻进时孔内工况更复杂,应确保参数监测的实时性和准确性。

4)煤矿井下定向钻进时要采用随钻测量系统进行钻孔轨迹参数实时测量,其主要有有线、泥浆脉冲无线和电磁波无线3种传输方式,信号传输时对钻机部分工作参数有影响;且钻进参数监测系统宜与随钻测量系统兼容,以搭建整体性的工作平台。

5)定向钻进装备目前正向大功率、机电液一体化控制等方面发展,应兼顾未来功能拓展^[10]。

2 钻进参数监测系统结构设计

考虑定向钻进对钻进参数监测系统的特殊要求,对钻进参数监测系统进行了整体结构设计,如图1所示,由外部传感器组、数据采集器、防爆计算机和系统软件组成。系统的工作流程如下:外部传感器组采用快速接头或非接触式连接安装在定向钻机关键机构处,钻进过程中实时将定向钻机的工作参数转变为模拟信号或数字信号,并传输至数据采集器;数据采集器进行参数收集和处理后,以CAN总线的方式发送给防爆计算机;由防爆计算机中的系统软件进行实时数据显示、图形绘制和数据库存储,定向钻进施工人员根据防爆计算机中显示的钻进参数,进行钻进参数优化和钻进过程控制。防爆计算机预留与矿井以太网和随钻测量系统的连接接口,可同时满足钻进参数远程数据传输和钻进轨迹随钻监控需要。

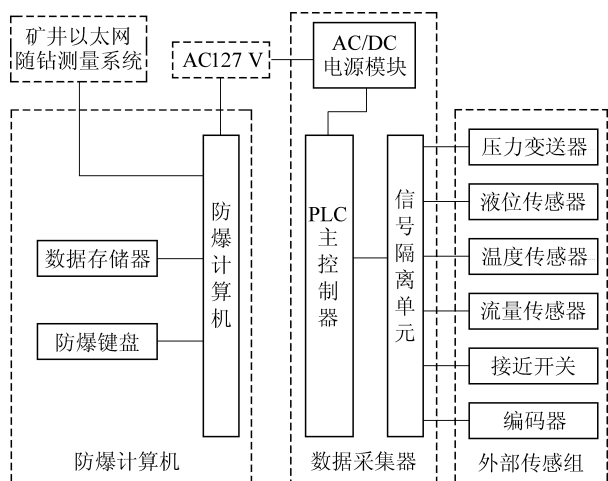


图 1 钻进参数监测系统组成原理框图

Fig. 1 Composition principle chart of drilling parameter monitoring system

3 钻进参数监测系统功能模块设计

3.1 钻进参数监测方案与元件选型设计

考虑定向钻进需要,系统确定需要监测的钻进参数主要包括回转转速、回转转矩、给进/起拔速度、给进/起拔压力、水泵压力、水泵流量、油液高度、油液温度和回油压力等,各参数检测选用的传感器类型和数量见表 1。

表 1 钻进参数监测系统传感器选型

Table 1 Sensor selection for drilling parameter monitoring system

监测单元	钻进参数	传感器类型	传感器数量/个
钻车参数	回转转速	编码器	1
	回转转矩	压力传感器	2
	给进/起拔压力	压力传感器	1
	给进/起拔速度	接近开关	1
泥浆泵车参数	水泵压力	压力传感器	1
	水泵流量	流量传感器	1
	油液高度	温度传感器	1
辅助设备参数	油液温度	液位传感器	1
	回油压力	压力传感器	1

回转转速采用编码器进行测量,通过将回转器的角度位移转换为计数脉冲,得到实际回转速度;回转转矩根据液压马达进出口压力差计算得到;给进/起拔速度采用接近开关监测,非接触式安装。

传感器采用分模块原则进行布置,即将定向钻机分为钻车、泥浆泵车和辅助设备 3 个模块,相同模块的传感器集中安装,统一布线,并最终引入至数据采集器。为方便现场拆装,所有外部连接传感器通信电缆接头设计为快速可插拔形式;为提高参数检

测精度,各类传感器均安装在钻机各执行部件近端。

3.2 数据采集器设计

数据采集器用于采集各路传感器的参数,经信号调理后通过 CAN 总线发送到防爆计算机。数据采集器采用独立的主机单元,设计由 PLC 主控制器、信号隔离单元和电源模块组成,详细结构原理如图 2 所示,其设计的关键技术是数据采集电路设计、隔爆结构设计和 CAN 总线数据通信设计。

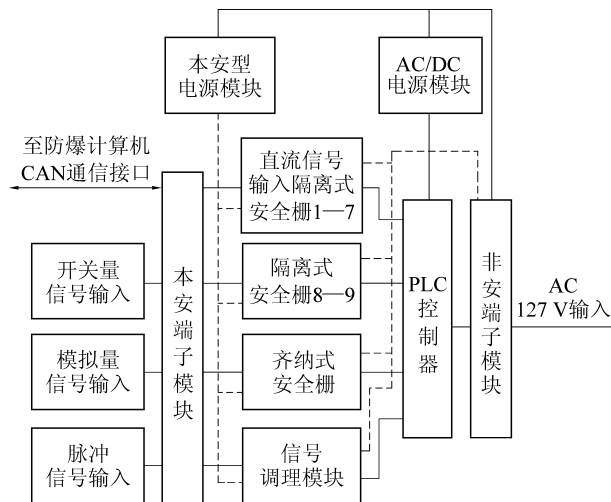


图 2 数据采集器硬件电路组成原理

Fig. 2 Composition principle of hardware circuit of data acquisition device

主控制器是数据采集的关键,为了提高系统的稳定性和可拓展性,选用 Digsys Compact 型 PLC 控制器,其内置高性能 PLC 模块、CAN 处理、运算器和放大器以及 A/D 转换器,遵循 CAN-Open 总线通信协议和 IEC61131-3 编程标准,具备众多高性能输入、输出接口,可以实现多路参数的采集与处理,易于应用平台的二次开发和未来监测参数的扩展^[15-16]。

考虑煤安工作要求和未来功能拓展便利性,数据采集器设计成隔爆兼本质安全型,主要包括机械隔爆结构设计和电气隔离接口设计 2 个方面,其中隔爆壳体采用 5 mm 厚的 304 不锈钢板焊接而成,隔爆面和螺纹长度均满足煤安标准要求;数据采集器与外部电源采用电缆连接,经过引入装置引入隔爆壳体内 AC/DC 电源模块;外部传感器与数据采集器采用密封式和快速接插式 2 种类型,共 11 个本安型引入接口连接。电气隔离方面,外部传感器组采集的信号分模块、分类型由本安端子模块引入数据采集器,经隔离式安全栅和信号调理电路模块处理后输入主控制器,完成数据采集,确保引入数据满足煤安要求。

考虑矿井恶劣环境下的抗干扰能力,数据采集

CAN 总线通信方式进行数据传输,基于 PLC 控制器的 CAN 处理模块,通过专设的 CAN 通信接口,实现与防爆计算机的实时通信。

3.3 孔口信号处理装置设计

防爆计算机主要用于钻进参数监测数据的实时显示和存储,由电源模块、液晶显示屏、硬盘、主控板、信号采集与接口隔离电路板、防爆键盘和防爆数据存储器等组成,如图 3 所示,可在爆炸性气体环境下实现正常计算机的所有功能,其设计的关键是防爆结构设计、数据通信接口设计和低功耗工作。

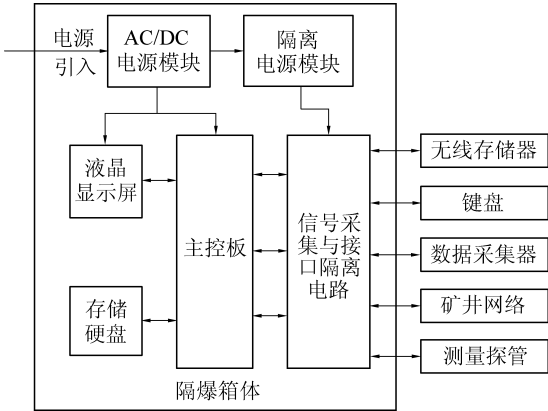


图 3 防爆计算机组成结构

Fig. 3 Composition of explosion proof computer

考虑系统未来功能扩展便利性,防爆计算机采用隔爆兼本质安全型结构,设计了一个隔爆腔体,主要由前盖、后盖和透明保护罩组成。其中前后盖均采用整块钢材铣削加工而成,之间的隔爆接合面宽度不小于 27 mm,间隙不大于 0.2 mm,隔爆接合面间隙(i) ≤ 0.2 表面粗糙度为 3.2 μm ,隔爆接合面边沿到孔边沿的距离不小于 9.5 mm;透明保护罩采用 15 mm 特制钢化玻璃,可承受 1 kg 重物 1 m 处下落冲击;隔爆壳体通过快速接头和电缆引入装置与外

部组件连接,隔爆面宽度和螺纹连接参数满足煤安要求。

考虑与随钻测量系统和矿井以太网连接的兼容性,防爆计算机设置了 2 路 USB 总线接口、1 路 RS232 总线接口、1 路 CAN 总线接口、1 路网络接口,分别用于与防爆键盘、防爆数据存储器、随钻测量探管、钻进参数采集器和矿井以太网连接,信号隔离采用最新的光耦隔离集成芯片,将外部组件输入的信号直接隔离后传递给计算机主控机,其光耦后端与双重过压过流 5 V 保护电路连接,确保输入信号的安全性。

由于隔爆壳体密封性强,防爆计算机的散热受限,为确保防爆计算机长时间稳定工作,应降低系统使用功耗。选择功率仅为 3.3 W 的本质安全型彩色液晶显示屏、宽温固态硬盘、嵌入式计算机主控板,经调试改进,实现了防爆计算机低功耗稳定工作,满足多种系统的使用需要。

3.4 系统软件设计

系统软件主要用于监测参数的显示、处理和数据存储,其设计的关键是整体架构设计、参数数据和图形显示设计、钻进工况识别与报警系统设计。

整体架构方面,系统软件以 Windows 操作系统为基本平台,通过组态软件定制系统运行界面,基于 VC++ 设计语言进行程序开发^[17-18]。为方便系统间调用,提高系统通用性,软件采用模块化设计,包括数据存储、数据显示、数据通信、功能配置和系统帮助等模块,系统功能模块组成如图 4 所示。为确保数据的准确性、安全性,对不同人员设定专属权限,设计人员可以配置系统参数、报警参数、用户管理、通信频率及 CAN 通道等信息,司钻人员只能通过系统查询相关信息。

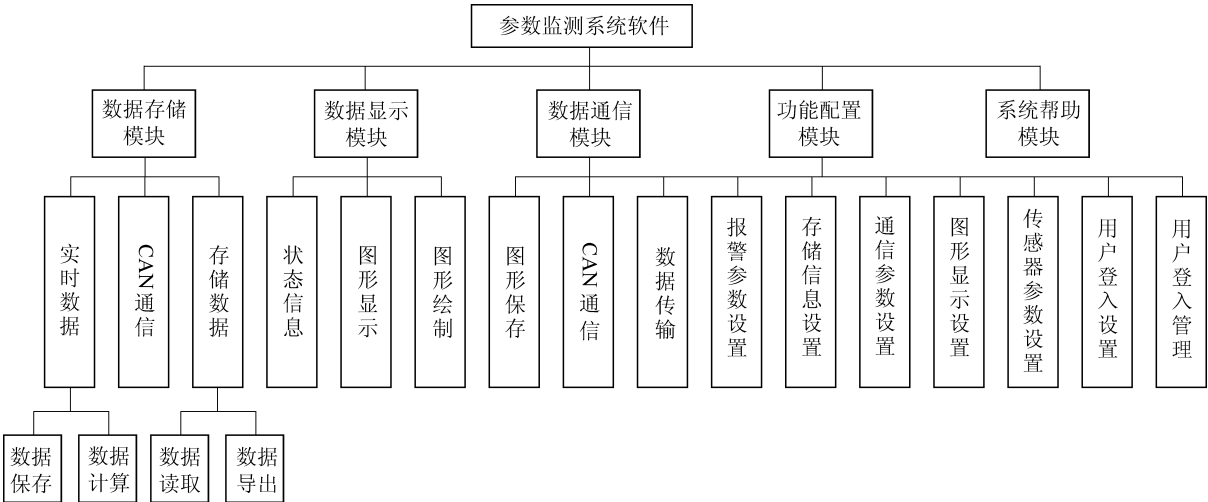


图 4 钻进参数监测系统功能模块组成

Fig. 4 Function module composition of drilling parameter monitoring system

为提高实时数据观测的方便性,系统软件采用数据和图形显示相结合的方式由多个界面进行参数展示,通过页面切换按钮可以在不同界面间任意切换。其中主界面采用数据形式显示实时钻进参数,便于掌握当前钻进工况,如图5所示,按照功能分为参数显示、状态信息、功能设计3个区;辅助界面采用图形形式显示钻进参数的历史曲线,便于分析钻进参数变化规律、进行钻进参数优化。



图5 钻进参数监测系统运行主界面

Fig. 5 Main interface of drilling parameter monitoring system

钻进工况识别方面,采用阈值法,结合钻进参数随时间域的动态变化进行判断,即先根据煤矿井下定向钻进理论公式和专家施工经验,得到不同钻进深度与状态下钻进参数的阈值范围,总结归纳不同典型定向钻进工况下钻进参数的变化规律和逻辑判断组合矩阵。当出现工况异常时,先根据阈值法,确定异常参数,然后结合定向钻进工况下的典型异常逻辑判断组合矩阵进行具体工况的分类识别,并在系统软件底部状态区进行报警,提示司钻人员紧急处理。

同时,采集处理后的钻进参数值可通过矿井以太网远程传输至地面,便于地面控制室实时掌握井下定向钻进情况。

4 室内测试与现场应用

4.1 室内测试

煤矿井下定向钻机钻进参数监测系统研制完成后,为了验证参数监测的准确性,利用钻机检测试验台,对回转压力、给进压力和主轴转速等主要参数进行了检测和对比。每种参数测试了5组,相关数据对比见表2。

由表2可知,系统监测数据与钻机检测试验台上测量仪表直接测得数据的误差均在1.2%以内,满足定向钻进施工需要。

表2 钻进参数监测性能测试数据对比

Table 2 Comparison of drilling parameter monitoring performance test data

参数		测量数据						误差率/%
回转压力	X	1.43	2.88	7.03	9.51	10.62		1.15
	W	1.44	2.86	6.95	9.43	10.6		
给进压力	X	0.62	1.12	0.93	0.93	0.84		1.18
	W	0.62	1.11	0.92	0.92	0.85		
主轴转速	X	90	208	156	90	159		1.00
	W	91	210	156	91	160		

注:X为参数监测系统数据,W为液压测试仪表数据。

同时,在国家安全生产抚顺矿用设备检测检验中心进行了安标性能检验,参数监测系统的安全性能、防爆性能等各项要求均符合煤安标准。

4.2 现场试验与应用

为检验煤矿井下定向钻机钻进参数监测系统的稳定性、可靠性和适用性,配套ZDY12000LD大功率定向钻进钻机在神华神东煤炭集团保德煤矿东五盘区进行了现场工业性试验。完成1个2 311 m的本煤层超长定向钻孔,共探顶开分支15次,钻孔累计进尺量3 094 m。现场试验过程中全程采用ZZJ127(A)煤矿定向钻机钻进参数监测系统,对钻机的转速、转矩、钻速、钻压和泵量等与定向钻进工艺技术密切相关的关键钻进参数进行了实时监测,并实时存储与系统后台数据库中,便于后期随时调用查看,确保了试验现场全孔段定向钻进的顺利施工。

试验钻孔施工过程中,回转器输出转速随钻孔深度增加逐渐降低,其变化趋势如图6所示;泥浆泵压力、钻机回转压力和给进压力随钻孔深度增加逐渐升高,相关压力参数变化趋势如图7所示,监测数据与钻机仪表显示数据最大误差1.25%。

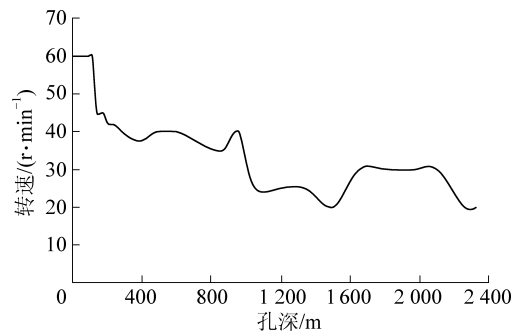


图6 转速随钻孔深度变化趋势

Fig. 6 Trend of rotating speed with borehole depth

试验钻孔全部采用复合定向钻进工艺技术,利用参数监测系统测量的数据进行钻进过程的精确控制。操作人员能够清楚地掌握钻机工作状况,通过监测参数的实时变化情况,及时进行钻进参数的调

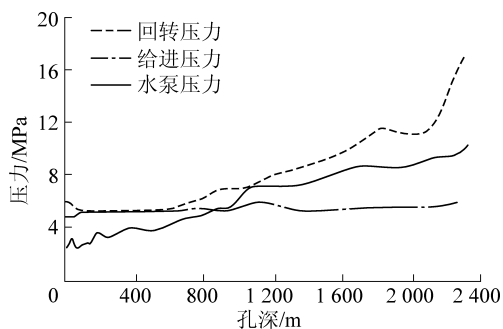


图7 压力参数随钻孔深度变化趋势

Fig. 7 Trend of pressure with borehole depth

整;同时可对孔内情况进行直观判断和分析,以预防卡、埋钻等钻孔事故。系统使用时可与随钻测量系统共用防爆计算机,兼顾了钻孔轨迹参数随钻测量需要。

5 结 论

1) 针对煤矿井下定向钻进精确控制和钻进参数优化需要,考虑煤矿井下定向钻进装备特点,研制了基于 PLC 主控制器为核心控制元件的 ZZJ127 (A) 煤矿定向钻机钻进参数监测系统,采用 CAN 总线通信方式实现采集器与防爆计算机之间的实时通信,解决了定向钻进施工过程中钻进参数实时监测的技术难题。现场试验结果表明,该钻进参数监测系统具有安装简单、参数测量完善、工作性能可靠等特点,对提高定向钻孔施工质量和钻进效率,保障定向钻进施工安全具有重要意义,同时为机械化、自动化、智能化钻进奠定了基础。

2) 以钻进参数监测系统提供的数据为基础,进一步开展钻机工作状态诊断和孔内钻进工况识别技术研究,可以实现钻进过程和钻机执行动作的自动化、智能化控制。

3) 钻进参数监测系统主要在孔口监测钻进参数和钻机工作状态,不能准确得到孔内实际钻进参数变化情况,尤其是对于深孔定向钻进,应开展孔内工程参数测量系统开发,直接检测孔内工程参数变化,孔内外参数结合,实现钻进过程的精确控制。

参考文献 (References):

- [1] 石智军,刘建林,李泉新.我国煤矿区钻进技术装备发展与应用[J].煤炭科学技术,2018,46(4):1-6.
SHI Zhijun, LIU Jianlin, LI Quanxin. Development and application of drilling technique and equipment in coal mining area of China [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4): 1-6.
- [2] 李泉新,石智军,许超,等.2311m 顺煤层超长定向钻孔高效钻进技术[J].煤炭科学技术,2018,46(4):27-32.
LI Quanxin, SHI Zhijun, XU Chao, et al. Efficient drilling technique

- of 2 311 m ultra-long directional borehole along coal seam [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4): 27-32.
- [3] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下水平定向钻进技术与装备的新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):12-16.
SHI Zhijun, LI Quanxin, YAO Ke. Latest Developments of horizontal directional drilling technology and the equipments for underground coal mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(1): 12-16.
- [4] 方鹏,姚克,邵俊杰,等.履带式中深孔定向钻进装备设计关键技术研究[J].煤炭科学技术,2018,46(4):71-75,87.
FANG Peng, YAO Ke, SHAO Junjie, et al. Research on key technology of the tracked directional drilling equipment design for medium-deep borehole [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4): 71-75.
- [5] 姚克,孙保山,殷新胜,等.ZDY 系列履带定向钻机的研制及应用[J].煤炭科学技术,2013,41(3):28-31,54.
YAO Ke, SUN Baoshan, YIN Xinsheng, et al. Development and application of ZDY series crawler mode directional drilling rig [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(3): 28-31, 54.
- [6] 肖玉清.煤矿用全自动钻机的研制与现场试验分析[J].煤炭技术,2017,36(5):222-224.
XIAO Yuqing. Development and field test analysis of fully automatic drilling machine used in coal mine [J]. Coal Technology, 2017, 36(5): 222-224.
- [7] 姚克.ZDY12000LD 大功率定向钻机装备研发及应用[J].煤田地质与勘探,2016,44(6):164-168.
YAO Ke. Development and application on ZDY12000LD high-power directional drilling equipment [J]. Coal Geology and Exploration, 2016, 44(6): 164-168.
- [8] 方俊,石智军,李泉新,等.顶板高位定向大直径长钻孔钻进技术与装备[J].矿业研究与开发,2015,35(7):92-97.
FANG Jun, SHI Zhijun, LI Quanxin, et al. Drilling Technology and equipments on directional high level and long borehole with large diameter in roof [J]. Mining R & D, 2015, 35(7): 92-97.
- [9] 张建明,曹明,陈晓明.煤矿井下数字化钻进技术发展现状与趋势[J].煤炭科学技术,2017,45(5):47-51,70.
ZHANG Jianming, CAO Ming, CHEN Xiaoming. Development status and tendency on digitalized drilling technology in underground coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 47-51, 70.
- [10] 蒲剑,辛德忠,陈航,等.煤矿用自动控制钻机的研制[J].煤炭技术,2015,34(5):269-271.
PU Jian, XIN Dezhong, CHEN Hang, et al. Development of automatic control drilling Rig for collieries [J]. Coal Technology, 2015, 34(5): 269-271.
- [11] 武斌波,郭文亮,寇子明.瓦斯抽采钻机连续装卸钻杆装置设计[J].工矿自动化,2018,44(2):63-67.
WU Binbo, GUO Wenliang, KOU Zimin. Design of equipment continuously loading and unloading drill rod on gas drainage drilling rig [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(2): 63-67.
- [12] 单成伟.基于 CAN 总线的钻参仪设计[J].工矿自动化,2014,40(3):25-27.
SHAN Chengwei. Design of drilling parameter monitor based on CAN

- bus[J].Industry and Mine Automation,2014,40(3):25-27.
- [13] 方俊,鄢泰宁,卢春华,等.全液压深孔钻机适用的钻探参数监测系统[J].煤田地质与勘探,2013,41(1):84-88.
FANG Jun, YAN Taining, LU Chunhua, *et al.* Drilling parameter monitoring system suitable to fully hydraulic drill rig[J].Coal Geology and Exploration,2013,41(1):84-88.
- [14] 贾鸿燕,蒋曙光.PLC在煤矿参数检测系统中的应用[J].煤矿安全,2011,42(12):71-73.
JIA Hongyan,JIANG Shuguang.Application of PLC in coal mine parameter detection system[J].Safety in Coal Mines,2011,42(12):71-73.
- [15] 焦阳,凌振宝,王君,等.基于单片机的钻机参数监测仪的研制[J].吉林大学学报:地球科学版,2008,38(1):172-176.
JIAO Yang, LING Zhenbao, WANG Jun, *et al.* Development of monitor for driller parameters based on single chip-microcomputer[J].Journal of Jilin University :Earth Science Edition,2008,38(1):172-176.
- [16] 翁寅生,殷新胜,赵良.松软煤层坑道钻机钻进参数测量系统设计[J].煤田地质与勘探,2014,42(5):100-103.
WENG Yinsheng, YIN Xinsheng, ZHAO Liang. Design of drilling parameter measuring system of drill rig in soft coal seam[J].Coal Geology and Exploration,2014,42(5):100-103.
- [17] 赵良,殷新胜,翁寅生.基于CoDeSys的坑道钻机参数监控系统设计[J].煤炭工程,2016,48(2):56-58.
ZHAO Liang, YIN Xinsheng, WENG Yinsheng. Design on parameter monitoring system of tunnel drilling rig based on CoDeSys[J].Coal Engineering,2016,48(2):56-58.
- [18] 邵春,张杰,鄢泰宁.一种基于全液压力头钻机的钻进参数检测方法[J].煤田地质与勘探,2011,39(3):77-80.
SHAO Chun, ZHANG Jie, YAN Taining. A drilling parameter detection method based on hydraulic top-driving rig[J].Coal Geology and Exploration,2011,39(3):77-80.
- [19] 卢春华,张冰,鄢泰宁.CUG-2高精度钻参仪及其在深孔生产中的应用[J].工矿自动化,2011(2):16-20.
LU Chunhua, ZHANG Bing, YAN Taining, *et al.* CUG-2 Drilling Monitor with High Precision and Its Application in Deep Hole[J].Industry and Mine Automation,2011(2):16-20.