



文章编号: 1671-251X(2019)01-0001-05

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2018080052

煤矿坑道定向钻机钻进参数监测系统设计

方鹏

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:针对全液压坑道定向钻机在钻进施工中参数实时显示和集中存储等方面存在的不足,设计了煤矿坑道定向钻机钻进参数监测系统。该系统采用分布式设计,通过CAN总线实现数据的传输和通信,能实时显示钻进速度、钻进/起拔压力、转速、转矩、水泵流量和压力等钻探施工参数,并通过防爆计算机进行数据传输和集中存储,便于钻探参数的分析和调整,结合压力传感器、流量传感器等可实现定向钻进施工的精确测量与控制。现场应用结果表明,该系统可配套多种定向钻机使用,能实时、准确地监测并显示定向钻机运行的各种钻进参数。该系统的设计为后续实现煤矿坑道定向钻机的“机-电-液”一体化控制和故障诊断奠定了基础。

关键词:煤矿坑道; 定向钻机; 钻进参数监测; 电液控制; 防爆控制; 分布式设计

中图分类号: TD41 文献标志码: A

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20181227.1321.001.html>

Design of drilling parameters monitoring system of directional drilling rig in coal mine tunnel

FANG Peng

(CCTEG Xi'an Research Institute, Xi'an 710077, China)

Abstract: In view of problems of deficiencies in real-time display and centralized storage of drilling parameters of full hydraulic directional drilling rig in coal mine tunnel, a drilling parameters monitoring system of directional drilling rig in coal mine tunnel was designed. Distributed design is adopted in the system, and data transmission and communication are realized by CAN bus, while key drilling parameters can be monitored and displayed in real time, such as drilling speed, drilling/drawing pressure, speed, torque, water pump flow and pressure. Data transmission and centralized storage are carried out through explosion-proof computer, which can facilitate analysis and adjustment of drilling parameters. Precise measurement and control of drilling construction can be realized by combining pressure sensor, flow sensor, etc. The field application results show that the system can be used with various types of directional drilling rigs, and can monitor and display various drilling parameters of directional drilling rig in real time and accurately. The design of the system has laid a foundation for the follow-up realization of "mechanical-electric-hydraulic" integrated control and fault diagnosis of directional drilling rig in coal mine tunnel.

Key words: coal mine tunnel; directional drilling rig; drilling parameter monitoring; explosion proof control; distributed design

收稿日期: 2018-08-23; 修回日期: 2018-12-09; 责任编辑: 胡娟。

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, 硕士, 现主要从事钻探技术装备研发与推广工作, E-mail: fangpeng@cctegxian.com。

引用格式: 方鹏. 煤矿坑道定向钻机钻进参数监测系统设计[J]. 工矿自动化, 2019, 45(1): 1-5.

FANG Peng. Design of drilling parameters monitoring system of directional drilling rig in coal mine tunnel[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(1): 1-5.

0 引言

煤矿坑道定向钻机是进行瓦斯灾害治理、隐蔽致灾因素探查、水害防治、地质异常体探查等精确定向钻孔施工的重要钻探装备,在上述各类钻孔施工过程中,诸如转速、转矩、钻压、钻速、泵量和泵压等关键钻进工艺参数直接关系到钻孔的施工质量和成孔效率^[1-2]。目前,国内相关研究单位开发了矿用钻进参数监测系统,但主要针对常规回转钻进施工,无法满足定向钻进施工过程工艺参数精确监测和过程控制的需要。受电器设备安全防爆认证特殊要求的制约,目前煤矿用坑道定向钻机主要采用全液压驱动方式,一般通过指针式仪表显示相关的钻探参数,常以压力参数为主,且显示参数有限,无法实时存储,对钻探过程中施钻人员的经验要求较高。钻探过程中如果能实现钻探参数的实时测量、存储及数据传输和通信等功能,对于钻机故障诊断大为有利;另外也能实时准确了解钻探施工参数,便于与钻进施工工艺方法合理匹配;同时通过钻探施工参数的变化情况能及时了解钻孔内地层变化情况,对于钻孔事故预防具有实际应用价值^[3-4]。随着相关技术的进步和防爆类电器产品的逐渐完善,煤矿坑道定向钻机用钻进参数监测系统的设计成为可能,也显得尤为必要。该系统的设计对于提高现有坑道定向钻机的应用水平和施工效果,减少并预防钻孔事故的发生具有重要作用,也是煤矿坑道定向钻机从全液压控制向电液控制,甚至到自动化、智能化控制发展的基础。

1 系统组成及实现原理

1.1 系统组成

钻进参数监测系统由防爆计算机、矿用本安型键盘、数据存储单元、采集器、多种矿用本安型传感器组成,如图1所示。采集器设计单独的主机单元,用于采集并发送各路传感器参数,并通过CAN总线实现与防爆计算机的通信;防爆计算机负责将采集

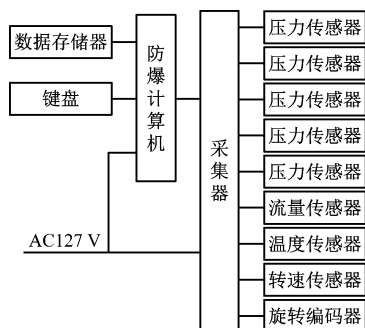


图1 钻进参数监测系统组成

Fig.1 Composition of drilling parameters monitoring system

器发送来的报文帧进行接收、解析并显示;外置传感器通过屏蔽线缆与主控制器连接,实现回转转速、回转转矩、给进速度、钻进/起拔压力、油箱液面高度、油液温度、水泵流量和压力等钻机运行参数的实时监测^[5]。为满足煤矿井下安全使用需要,系统需采用防爆设计^[6]。

基于主控制器开发的参数监测系统专用软件用于显示钻机各种运行工况参数,根据预设工艺要求对采集到的信号进行判断,并发出声光报警^[7]。

1.2 主要参数测量原理

监测的钻进参数中,部分参数可以直接由传感器进行测量,另外部分参数只能通过测量和计算的方式间接获取^[8]。

1.2.1 转速测量

采用旋转编码器直接测量钻机输出转速。旋转编码器将安装于回转器输入轴端的编码盘的角位移转换成具有周期特性的电信号,再将电信号转换成脉冲数量,通过脉冲数量记录回转转速^[7]。根据安装需要,本文采用非接触增量式编码器,该编码器具有2路0~2 000 Hz 半导体接点型频率信号输出,导通状态输出时电压不大于0.5 V,截止状态输出时漏电阻不小于100 kΩ。

1.2.2 转矩测量

对于钻机类移动设备,其回转器输出转矩的监测只能通过间接测量方式获得。采用2路压力传感器分别测量回转器驱动电动机进、出油口的压力 P_1 和 P_2 ,根据电动机输出转矩和驱动压力成线性关系的特性,采用公式计算的方式间接获取回转器的输出转矩。回转器转矩计算公式为

$$M = 0.159 \Delta P q \eta n i \quad (1)$$

式中: ΔP 为驱动电动机进、出油口的压力差; q 为驱动电动机的输出排量; η 为液压电动机的效率; n 为驱动电动机的数量; i 为回转器传动系统的减速比。

1.2.3 钻进速度测量

钻进速度是钻探施工的关键参数,直接关系到成孔质量和成孔效率,因此需要监测系统能准确监测钻机的钻进速度。坑道钻机一般采用直推式油缸或油缸+链条倍速的给进机构,均为直线运动,因而可利用传感器直接测量钻进速度。通过接近开关监测给进、起拔速度,将给进动作的直线运动转化为测速轮盘的旋转运动,采用非接触式安装,当测速轮盘接近传感器的距离 ≤ 15 mm时,传感器立即动作,集电极闭合,否则集电极断开。

1.2.4 钻进压力测量

钻进压力是钻探施工的关键要素,与给进机构形式、孔壁摩擦阻力和冲洗介质阻力等因素关系密

切,因变量因素较多,故不宜采用计算方式获得,通过实际测量的方式能较为准确地获取钻进压力参数。采用2路压力传感器分别监测给进油缸进、出油口的压力信号,给进端监测的压力信号为给进力 P_g ,起拔端监测的压力信号为起拔力 P_q ,规定给进力为正参数,起拔力为负参数,钻机施加于孔底钻头的钻压 P_z 为

$$P_z = (P_g k_g - P_q k_q) C \quad (2)$$

式中: k_g, k_q 均为与给进机构所需油缸参数相关的系数; C 为与给进机构形式相关的系数。

1.2.5 水泵流量测量

水泵的流量通过旋进式漩涡流量传感器直接测量,当水流通过旋流发生器后,形成涡流进动现象,其频率与被测量的水泵流量呈线性关系。传感器直接测量涡流进动频率,即可获取水泵流量大小,不受水流物理特性的影响。水泵输出流量与进动频率的计算公式为

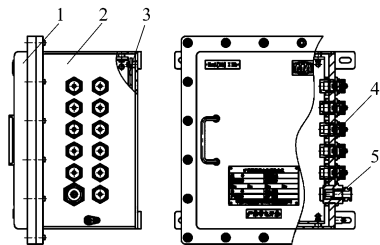
$$Q = F/K \quad (3)$$

式中: Q 为水泵流量; F 为漩涡的频率; K 为流量计的测试系数。

2 防爆结构设计

防爆采集器和计算机采用隔爆兼本安防爆结构型式,AC 127 V 外部供电电源可以直接接入采集器和计算机,采集器外围结构采用喇叭口或者快速接头。

采集器结构设计包括防爆外壳和内部安装支架2个部分。主控制器、本安电源、非安电源、安全栅、本安电路板及接线端子均安装于箱体内部支架上,外部传感器和其他配接设备经通信电缆由喇叭口或快速接头引入防爆壳体内部对应的接线端子。采集器外形结构如图2所示,采用上端盖打开方式,外围包括11个本安型快速插头和1个喇叭口。



1—箱盖;2—箱体;3—安装支架;
4—本安型快速插头;5—喇叭口

图2 采集器外形结构

Fig. 2 Shape structure of collector

3 系统硬件设计

钻进参数监测系统的硬件设计主要涉及采集器

的内部电路,包括电源设计、信号调理电路和外围接口设计^[9]。

采集器的电路包括本安型电源、AC/DC 模块、隔离式安全栅、信号调理模块和接线端子模块,如图3所示。外接传感器采用本安信号,由接线端子引入采集器后,经过安全栅和信号调理电路对本安信号进行隔离和调理后引入主控制器,实现数据采集。

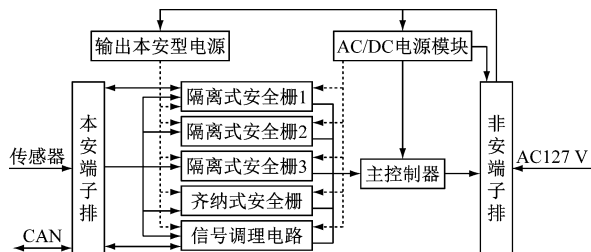


图3 采集器硬件电路结构

Fig. 3 Collector hardware circuit structure

主控制器是采集器的核心功能部件,选用 Digsys Compact 型控制器。该控制器具有高防护、耐冲击、耐振动和高可靠性的特点,内置高性能 PLC 可编程控制器,遵循 CAN-Open 总线通信协议,遵循 IEC61131-3 编程标准,内置 AD 转换单元、计算单元、放大单元以及 CAN 通信处理单元,且集成了脉冲、数字、模拟量输入和 PWM 输出功能。通过大量高性能输入和输出接口,可以采集多个物理量数据,如压力、温度、速度及长度等。主控制器软件开发平台为 PROSYD 1131,采用工程机械上广泛使用的以 CoDeSys 为内核的软件平台进行二次开发。

4 系统软件设计

4.1 采集器底层软件设计

采集器底层软件基于 PROSYD 1131 平台进行开发,可实现客户的硬件可重构和软件的组件化需求。设计底层软件前需明确传感器和通信接口的信号类型,采集器各通道信号类型见表1。

表1 采集器各通道信号类型

Table 1 Signal types of each channel in the collector

传感器与通道类别	转换前信号类型	转换后信号类型
数据通信	CAN	CAN
压力传感器	电阻	电流(4~20 mA)
温度传感器	电阻	电流(4~20 mA)
液位传感器	电阻	电流(4~20 mA)
流量传感器	电流(4~20 mA)	电流(4~20 mA)
编码器	脉冲	脉冲
接近开关	脉冲	脉冲

采集器底层软件设计包括主程序模块、数据采集模块和CAN通信模块。对信号类型相同的传感器,在设计软件前需先进行ID号定义及标定,以区分测量对象及测量范围^[10-11]。

采集的信号需要经过滤波处理以达到稳定输出的要求。完成信号采集后,采用FBD语言进行数据处理。压力传感器数据可直接输出;为了便于直观显示,液位及温度数据需经过线性变换后输出;由于编码器采集使用的是频率和计数信号,需通过二次数据运算得到钻机回转器的转速。将得到的数据分别赋值给对应的输出变量,通过控制器的CAN通道发送到上位机进行存储和显示^[12-13]。

4.2 系统上位机软件设计

上位机软件和采集器软件之间通过CAN实现通信^[14-15]。上位机软件包括数据存储、数据显示、数据通信、系统功能配置和系统帮助等模块。数据显示区域显示常用钻进参数,状态区用于显示系统实时运行状态信息,功能设计区域可以进入系统功能配置。

防爆计算机启动后采集器上位机软件自动启动进入运行界面,系统运行界面如图4所示。针对不同的操作人员,系统设定不同的权限。监测的钻进参数以数据库文件保存在防爆计算机中,同时可设置所需保存参数及间隔时间;软件运行过程中,可以设置每个参数报警数值,如超出正常参数区域,软件报警灯将进行报警,并提示报警信息。

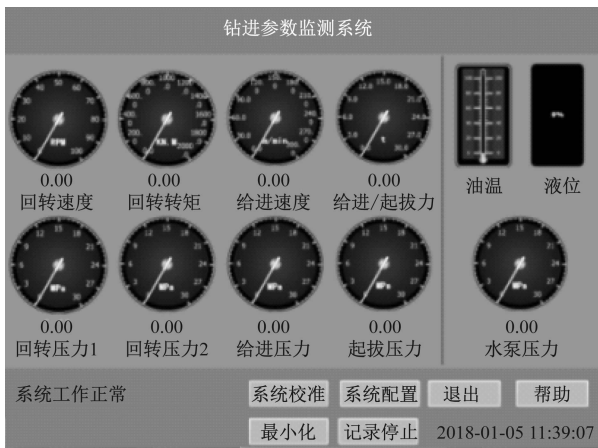


图4 钻进参数监测系统运行主界面

Fig. 4 Main interface of drilling parameters monitoring system

5 系统应用

为了验证参数监测系统测量的准确性和可靠性,2017年11月,将该系统配套ZDY12000LD型大功率定向钻机,在神东煤炭集团公司保德煤矿进行了现场试验。施工完成主孔深度达2311m的本

煤层超长定向钻孔,钻孔总进尺为3094m,参数监测系统对钻进施工过程中的钻进参数进行了全程监测和记录。

全孔段施工的钻进参数通过系统上位机软件自动记录并存储到防爆计算机后台数据库,相关参数实时显示在防爆计算机屏幕上,施钻人员能够直观地了解钻机钻进参数,包括给进/起拔力、给进/起拔速度、回转转速、回转转矩、系统压力、水泵压力、油温以及液位等。其中,回转转速、给进压力、水泵压力与泵量等主要钻进参数随孔深的变化趋势如图5所示。

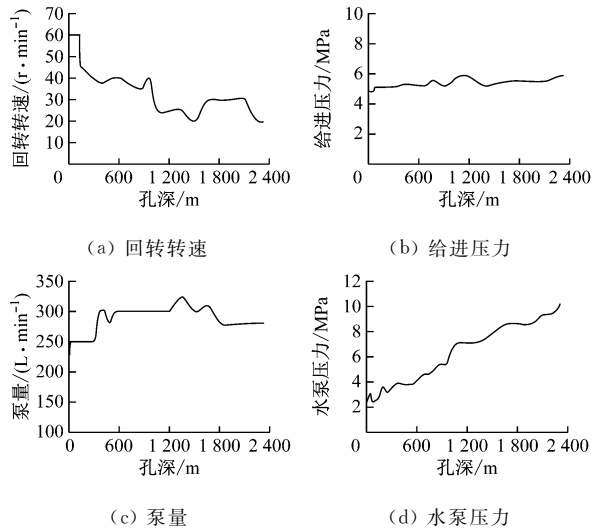


图5 钻进参数随孔深变化趋势

Fig. 5 Trend curve of drilling parameters with borehole depth

由图5可看出,回转转速随孔深增加而逐渐降低;给进压力和水泵压力随孔深增加而逐渐升高;泵量基本维持比较平稳的输出状态。图5中曲线描述的局部拐点表示施工中存在参数突变情况,据此,施钻人员可以快速做出响应。通过监测系统实时判断孔内情况,可有效防止卡钻等钻孔事故。通过对软件系统的设置,可以方便查看相关参数变化规律,也可以通过系统设置实现对个别参数的重点监测。

6 结论

(1) 针对全液压坑道定向钻机在参数显示和存储等方面存在的突出问题,设计了坑道定向钻机用钻进参数监测系统,解决了定向钻进施工过程钻进参数实时监测的技术难题,为高效、科学钻探提供了配套设备保障。

(2) 坑道定向钻机用钻进参数监测系统具有操作简单、性能稳定、可靠性高的特点,可以配套多种型号定向钻机使用,配置安装灵活。系统的设计与研制为后续实现煤矿坑道定向钻机的“机-电-液”

一体化控制和故障诊断奠定了基础。

(3) 现场应用结果表明,该参数监测系统可以实时、准确地监测并显示定向钻机运行的各种钻进参数,对于辅助施钻人员进行钻进参数的优化、提高现场钻进效率和成孔质量、预防钻孔事故具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 申宝宏,刘见中,张泓. 我国煤矿瓦斯治理的技术对策[J]. 煤炭学报,2007,32(7):673-679.
SHEN Baohong, LIU Jianzhong, ZHANG Hong. The technical measures of gas control in China coal mines [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(7): 673-679.
- [2] 石智军,董书宁,姚宁平,等. 煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J]. 煤炭科学技术,2013,41(3):1-6.
SHI Zhijun, DONG Shuning, YAO Ningping, et al. Technology and equipment of horizontal measuring directional drilling in underground coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(3): 1-6.
- [3] 石智军,李泉新. 煤矿区钻探技术装备新进展与展望[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):150-153.
SHI Zhijun, LI Quanxin. New progress and prospect of drilling technology and equipment in coal mine area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10): 150-153.
- [4] 方鹏. ZDY4000LD(A)型履带式全液压定向钻机的设计[J]. 煤田地质与勘探,2014,42(4):93-96.
FANG Peng. Design of the track-mounted ZDY4000LD(A) fully hydraulic directional drilling rig [J]. Coal Geology and Exploration, 2014, 42(4): 93-96.
- [5] 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.
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.
- [6] 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.
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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 罗光强,胡郁乐. 科学深钻DPI-1智能化多功能钻参仪的研制与应用研究[J]. 地质与勘探,2014,50(4):777-782.
LUO Guangqiang, HU Yule. Design and application of the DPI-1 intelligent drilling parameter instrument for scientific drilling [J]. Geology and Exploration, 2014, 50(4): 777-782.
- [11] 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,2011,37(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, 37(2): 16-20.
- [12] 王献伟,陈颖,缪燕子,等. 瓦斯突出参数检测系统设计[J]. 煤炭技术,2017,36(10):129-131.
WANG Xianwei, CHEN Ying, MIAO Yanzi, et al. Design of system for detecting gas outburst parameters [J]. Coal Technology, 2017, 36(10): 129-131.
- [13] 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 Ziming. Design of equipment continuously loading and unloading drill rod on gas drainage drilling rig [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(2): 63-67.
- [14] 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.
- [15] 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.