

大功率岩石掘进机的研制及应用

张兰胜, 魏景生, 杨 阳, 宋月辉

(石家庄煤矿机械有限责任公司, 石家庄 050031)

[摘要] 目前煤矿岩巷开拓任务重,岩巷机械化掘进成为各矿普遍存在的技术难题。石家庄煤矿机械有限责任公司研发出一种具有自主知识产权、技术先进、适应我国煤矿岩巷掘进要求的岩巷掘进机,在重型岩巷掘进机整体设计技术、高可靠性部件设计技术、无极调速变量自动控制液压系统技术、全遥控智能型电控系统方面取得了突破性进展。

[关键词] 岩巷掘进机;整体设计技术;无极调速;全遥控;智能型电控

[中图分类号] TD421 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)11-0050-09

1 前言

随着我国经济的高速发展,对能源的需求也越来越大。我国能源结构中,有70%来源于煤炭,其中95%煤矿为井工开采,随着综采机械化程度的不断提高,工作面准备速度明显落后,采掘比例失调矛盾突出;新建矿井和我国东部各产煤矿岩巷开拓任务重。目前煤矿岩巷掘进作业几乎全部采用爆破法,效率低、成巷质量差、安全性差;重型岩巷掘进机在国外应用相对较多,我国极少数煤矿引进使用,掘进效果不错,但存在价格高昂、维修服务困难、没有自主知识产权等问题,因此进口岩石掘进机在国内的推广受到了制约。我国还没有真正意义上的重型岩巷掘进机,岩巷机械化掘进成为各矿普遍存在的技术难题。各矿务局都在寻求安全、高效、低成本的岩巷机械化掘进方式。因此开发一种具有自主知识产权、技术先进、适应我国煤矿岩巷掘进要求、成本低廉的岩巷掘进机,以解决我国煤矿采掘失调矛盾,促进煤矿高效安全生产,是非常必要的^[1-4]。

根据笔者等多年制造和使用掘进机的经验,不断研究优化掘进机的结构和适应性,通过充分调研对比国内外先进掘进机的技术及应用情况,研究开

发了EBH300(A)岩石掘进机,多项技术属国内外领先的新技术和创新技术,代表了国内掘进机的发展趋势。主要包括:重型岩巷掘进机整体设计技术、高可靠性部件设计技术、无极调速变量自动控制液压系统技术、全遥控智能型电控系统。

2 重型岩巷掘进机整体设计技术

为了使该设备能够适应井下岩石巷道掘进,首先对半煤岩掘进机在切割岩石时存在的问题进行了分析汇总,通过大量的调研发现,掘进机在进行岩巷掘进时主要存在以下问题:a. 截割硬度低,截割头寿命短;b. 工作时机身振动大,稳定性差;c. 装运系统易卡链、易磨损;d. 整机可靠性差。

针对以上问题,在整机设计上主要从以下几点进行了研究。

1) 截割形式的确定。破岩能力是岩石掘进机的一个重要指标,通过对截齿与岩壁的接触状况分析,利用模拟运动仿真,发现横轴掘进机在岩巷掘进作业中与纵轴掘进机相比具有一定的优势,截齿运动轨迹相对比较确定,截齿与岩石接触时入切角更加接近理论破岩角度,因此选用横轴截割形式^[5-7]。

2) 整机参数的确定。考虑岩石掘进机在截割

[收稿日期] 2011-08-24

[基金项目] 国家863计划重点项目(2008AA062201)

[作者简介] 张兰胜(1965—),男,河北衡水市人,高级工程师,长期从事煤矿采掘机械研究工作;E-mail: smjzls@163.com

时的整机稳定性问题,设备应具有足够的重量来克服因截割岩石造成的整机振动,同时为了有效地利用自身重量提高整机稳定性,对履带中心距及履带的接触长度进行了定性分析,同时考虑整机对岩巷断面的适应性,建立了整机模拟工况时的载荷谱,通过对载荷谱的分析,优化了整机结构、重心位置等,最终确定设备重 125 t,整机宽度不大于 3 m,履带接地长度不小于 4.5 m,适应坡度 $\pm 18^\circ$,截割高度不小于 5.5 m,截割宽度不小于 8 m,最大切割硬度不小于 $f12$ 。

3) 装运系统动力参数的确定。由于岩巷掘进机使用工况恶劣,结合岩石装运易卡链、易磨损的特点,装运系统采用分装分运电机驱动,加大装载运输驱动能力,充分利用电机的过载能力,最终确定星轮及第一运输机分别采用 37 kW 电机驱动。运输系统结构件选用了特殊的耐磨材料,提高耐用度和寿命。

4) 液压系统的确定。该掘进机重量大、功率大、负载冲击也大,为保证各部的动作灵活,同时保证节能及系统的可靠性,研究开发了双变量负载敏感电磁比例控制系统,系统压力 25 MPa。

5) 电气系统的确定。该设备主要用来进行岩巷开拓,设备外形尺寸较普通掘进机大,研究了全遥控控制、自动截割成形技术,既便于操作又有利于巷道成形,同时电气系统具有智能诊断、齐全的保护功能,扩展能力强。

3 高可靠性部件设计技术

部件的可靠性是岩石掘进机是否能够适应井下岩巷掘进工作最为关键的因素,因此针对掘进机各部件在掘进机工作过程中作用及特点的不同进行有针对性的设计和改进。

3.1 截割机构

截割机构是岩石掘进机的关键部件,截割机构性能的好坏直接影响掘进机的截割硬度、截割效率和使用寿命,在截割机构的设计中,进行了以下几个方面的特殊设计(如图 1 所示)。

1) 截割部采用横轴双截割头结构形式,截割岩石硬度和效率高,截割稳定性好;截割头采用三维软件仿真模拟设计,通过对截割头截齿分布的研究及受力分析,合理排布截齿相对截割头体及被截割岩石的角度,全包络线多齿掩护切割,切割振动小,使之能有效地对岩石进行破碎、截割,截割头磨损小,

截齿损耗率低。

2) 截割臂采用特殊的整体伸缩结构,大大增加了传动刚性。通过伸缩油缸进行掘进的掏槽作业,进刀量、进刀力可控,有效解决了岩石掘进机依靠行走掏槽作业导致的强烈冲击及闷车现象,同时有利于巷道的修形。

3) 研究设计了截割部齿轮减速箱跨桥行星传动结构,满足了大功率、大传动比、体积小要求。传动齿轮、轴承采用油泵强制润滑方式,同时减速箱壳体采用迷宫水冲刷冷却方式,改善了减速箱的散热方式,降低了减速箱的温度,延长了齿轮、轴承的使用寿命。

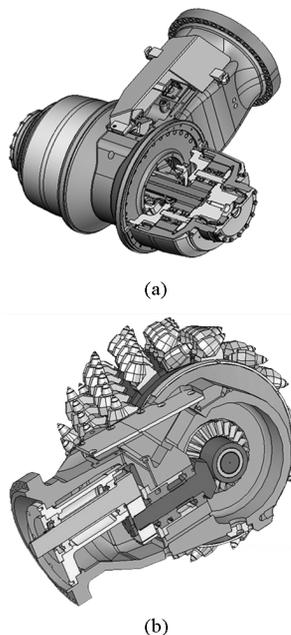


图 1 截割部机构示意图
Fig. 1 Cutting units

3.2 装运部

装运部由铲板部(见图 2)和第一运输机组成,用来装运掘进机破碎下来的岩石。装运的运输能力及防卡链、防磨损是设计的关键,该岩石掘进机的装运部具有以下特点。

1) 装运部采用分装分运,有效降低了装运故障。

2) 星轮及运输分别采用 37 kW 电机驱动,输出力量大,过载能力强,有效地解决了由于岩石挤掩造成的卡链问题。

3) 铲板部及运输部采用全封闭回链连接形式,回链运行平稳,无卡阻,防跳链,杜绝了因跳链导致的卡链问题。

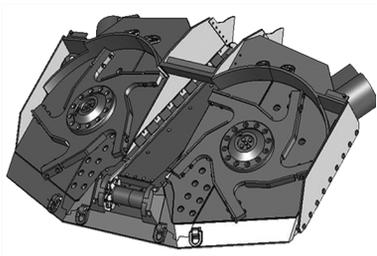


图2 铲板结构示意图

Fig. 2 Structure of apron

4) 铲板采用大俯角前探式设计,缩短了机尾轮与岩壁之间的距离,最大限度地实现物料装运,装岩效果好。

5) 应用特殊符合耐磨钢板,大大提高了装运机构的使用寿命。

3.3 本体部

本体部是其他各部件连接的基础,本体的结构合理性直接关系整机的布置和设备的可靠性,如图3所示。

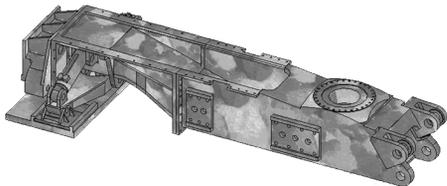


图3 本体部结构示意图

Fig. 3 Structure of major body

1) 本体部主机架采用铸造、焊接相结合的工艺方式,通过有限元进行强度分析,结构合理,强度高。

2) 本体架采用分体U形连接结构,解体尺寸小,连接可靠,适合我国煤矿条件要求。

3) 后架采用滑靴式横向后支撑设计,减小了接地比压,方便了机身位置左右调整,可在无行走情况下实现小角度的机身位姿调整。

4) 回转部采用新型回转齿轮齿条传动替换传统的回转油缸传动,结构紧凑、传动平稳,实现了截割臂摆动恒力量输出。

5) 回转支承研究了摩擦盘与调心滚子轴承相结合的方式,高压润滑脂强制润滑,与传统回转支承相比刚性好、抗振动载荷能力强。

3.4 行走部

行走部驱动形式设计为液压马达与减速机高度集成结构。履带采用履带板和连接销轴复合结构,使更换履带板更容易,在履带架外侧设有检查窗口,履带涨紧油缸可从履带外侧安装或取出。掘进机工

作时震动大,履带架与本体的联接要具有足够的放松能力,保证连接的可靠性,首次研究应用了高压液压螺母连接,预紧力可控,连接可靠。

3.5 润滑系统

笔者等对整机润滑系统进行了着重研究,在将重载的运动副设计了集中自动润滑系统,润滑可靠,自动化程度高,从而大大降低了整机的维护时间和设备维护人员的劳动强度。

4 具有国际先进水平的液压系统

1) EBH300(A)岩石掘进机液压系统采用了变量、比例、负载敏感控制技术,一个泵对应多个执行机构。该系统具有低压非工作状态泵摆角为最小,高压溢流状态实现压力切断、泵出流量最小的特点,这样既减少了能耗,又降低了系统的温升。

2) 主阀采用防爆电磁换向阀,实现机、电、液各系统关联控制,是整机实现遥控智能控制的中心纽带,也使得整机更加智能,操作更为简单方便。

3) 升降、回转油缸采用缓冲减震技术、升降油缸加反冲补油,保证升降、回转运行的平稳性、准确性,解决掘进机升降油缸损坏频繁的难题。

4) 行走系统采用双变量负载敏感技术实现智能判断负载,自动实现双速切换控制。

5) 反馈油路加装防爆安全切断控制阀,只要发出指令,该阀即将反馈油路切断,任何操作都不能使掘进机行走与摆动,保证非常时刻人员的安全。

除以上技术外,该液压系统还配备有先进的自动加油系统、精良的高压过滤装置、先进的冷却装置、严格的油品保证要求。所有这些都为系统高可靠性提供了保障,液压系统原理图如图4所示。

5 全遥控智能型电控系统

石家庄煤矿机械有限责任公司承担国家“十一五”863计划重点项目“煤矿井下采掘装备遥控关键技术”课题“掘进机远程控制技术及监测系统”,“863”部分研究成果成功推广到硬岩掘进机EBH300(A),使掘进机电控水平达到了国内领先、世界一流。

EBH300(A)全遥控智能型电控系统,采用了多点编程技术实现掘进机自动成形截割。截割升降油缸与铲板油缸内置磁滞传感器,能够根据预先设定的巷道断面轮廓曲线完成自动截割成形操作。掘进机过程中控制系统根据机身上布置的传感器得到截

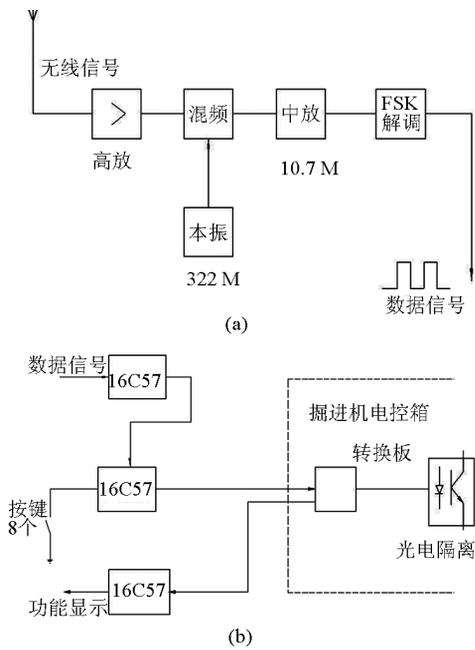


图6 遥控装置原理图

Fig. 6 Diagram of remote control device

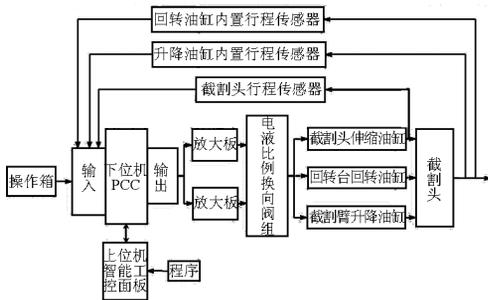


图7 基于PCC电控系统的截割断面自动成形控制方案图

Fig. 7 Diagram of cutting section automatic modeling control based on PCC electrical control system

板进行通讯,将坐标信息传递给智能工控面板。智能工控面板中的自动截割控制程序将三路信号读入后,根据程序中预先设定好的截割路径及坐标参数发出控制信号,PCC根据收到的指令向电液比例阀组发出控制信号,控制各阀口的开闭顺序,从而控制油缸的起停顺序,最终控制截割头按设计路径准确截割获得规整断面。

5.2.2 自动成形截割控制系统

计算机工控机自动成形电控系统能够根据预先输入的巷道断面轮廓曲线完成自动截割成形操作。

掘进过程中控制系统根据机身上布置的传感器计算得到截割头的空间位置,然后根据预置的轮廓参数进行轨迹的跟踪。工控机和可编程计算机控制器能够共同分担控制任务,通过通讯方式协调工作,整个截割过程不需要人为参与,大大减少了劳动强度、保证了工作质量。

5.2.2.1 硬件系统

该电控系统包括控制器、按钮操作箱、显示器及外围传感器,系统组成框图见图8。

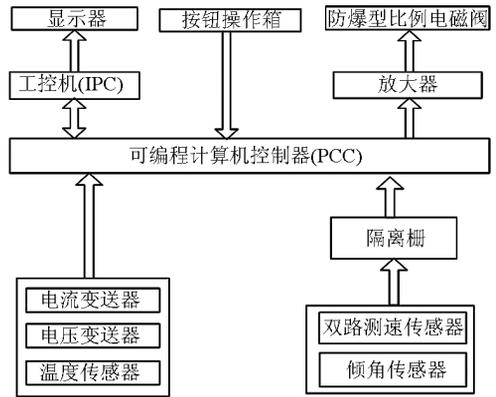


图8 自动成形截割控制框图

Fig. 8 Diagram of automatic modeling cutting control

1) 控制器。系统采用工控机(IPC)和可编程计算机控制器(PCC)相结合的控制方式。可编程计算机控制器(PCC)是一种不同于可编程逻辑控制器(PLC)和工业控制计算机(IPC)的新一代控制器。PCC中采用分时多任务操作系统,摆脱了PLC中单个程序对硬件的依赖,能够方便地处理设计中的开关量、模拟量,能够灵活地进行回路调节,而且能够使用高级语言编程。

IPC功能强大,界面友好,但IPC模式开发周期长、安装体积大、扩展性差,且IPC模式主要是通过接口板转换各种信号,存在干扰问题,PCC要可靠的多。因此确定了IPC为上位机,PCC为下位机的控制模式。

IPC在图形处理和大数据量浮点运算方面的能力是普通PLC无可比拟的,在该系统中采用IPC作为上位机,通过通讯接口与下位机PCC进行通讯,传感器数据及操作指令通过PCC进行采集,IPC只负责掘进机姿态计算、截割图形显示、自动截割过程中的轮廓边界判断等需要大数据量运算但不需要高速响应的地方。

2) 截割头空间位置检测装置。截割头相对于

掘进机机体的空间位置检测是实现巷道断面自动成形的核心。通过截割头运动学分析确定截割头空间位置检测装置组成,包括截割头行程传感器测量、截割头伸缩量、截割臂倾角传感器测量、截割臂垂直摆角、回转台测速传感器测量、截割臂水平摆角。

a. 行程传感器。借鉴液压支架电液控制系统,用于测截割头伸缩量。包括行程传感器管体(内部装有紧密排列的干簧管和电阻组成的等效电位器电路)、行程传感器磁环、接线插座(如图9所示)及交换电路。

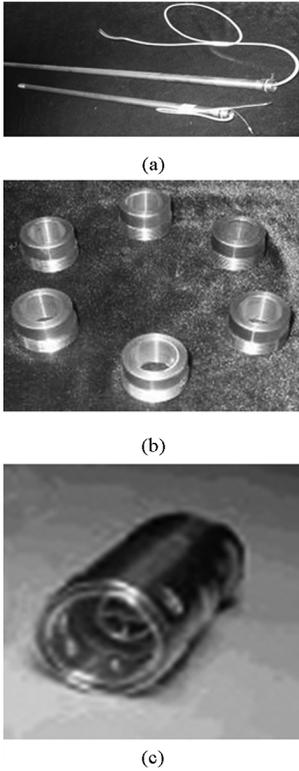


图9 行程传感器构成

Fig. 9 Composition of distance sensor

b. 倾角传感器。目前国内煤矿设备有采用油缸内置传感器检测油缸行程计算截割头截割位置的控制方法,测试精度高,但传感器的安装较复杂,需换内部钻孔的配套油缸,该组合造价高,对控制器的要求也高。综合考虑煤巷测试环境要求,提出直接选取倾角传感器安装在截割臂侧面,测截割臂垂直摆角,其控制简单,满足煤巷精度要求,且安装便捷、成本低。

倾角传感器采用无接触触点的磁敏电阻型重力摆式倾斜角传感,经过低功耗标准电压变送电路,输出稳定的电压信号,工作电流小,可靠性高,是本案

型设计。密封性好,耐水、油和腐蚀性气体,能抗振和适应恶劣环境。倾角传感器实物图见图10,输出特性曲线见图11。



图10 倾角传感器实物图

Fig. 10 Picture of angle sensor

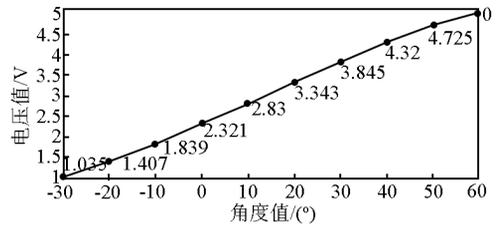


图11 倾角传感器输出特性曲线图

Fig. 11 Diagram of angle sensor output characteristic graph

c. 测速传感器。采用新型SMR磁敏感元件,频响宽,稳定性好,抗干扰强,并内装放大整形电路,输出为两路有相位差的幅度稳定的方波信号,如图12所示。具有判向功能,能分辨齿轮、齿条的运动方向,具有编码器的功能,可以测量双向运动的位移量和正反角度转动的角度值。产品可靠性高,坚固耐用。实物图如图13所示。

3) 比例放大器。比例放大器又称放大板,主要用于系统中电液比例阀的控制。具有两个互相独立运行的比例放大器,并有很好的调节精度。可同时控制3位3通或3位4通比例阀(每个阀有一个双比例电磁铁或两个单独的比例电磁铁通过开关a、b进行交替动作。因此,此放大器主要控制带E(电磁铁)或E/A(电磁铁或手动控制)操作的PSL(V)或SWS2-MP型等带两个电磁铁的比例方向滑阀。

比例放大器主要特点为:一个放大器可用12VDC和24VDC电源;可以使用±5VDC和±10VDC两种稳定的电压和参考电压;用多圈电位器,可在两个方向精确地调节基本和最大电流;精确地维持额定电流;颤振信号叠加到输出电流上,颤振幅值可调,颤振频率均55Hz;用多圈电位器可调节

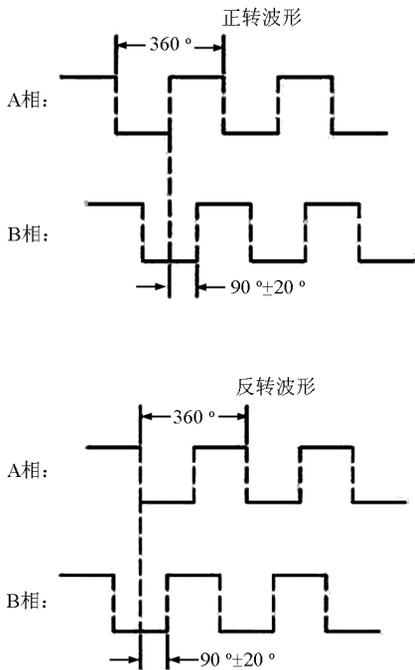


图 12 双路测速传感器输出波形

Fig. 12 Diagram of double channel speed test sensor output characteristic graph



图 13 双路测速传感器实物图

Fig. 13 Picture of double channel speed test sensor

递增和递减斜坡时间;输出短路和接地短路保护。比例放大器保护功能完善,具有输出短路和接地短路保护功能以及故障指示灯。

4) 负载敏感式比例多路换向阀组。本项目使用防爆负载敏感式比例多路换向阀。该阀组由电磁力马达、比例减压阀和液动换向阀等组成,用于控制液压执行元件运动方向,无级调节执行元件运动速度,可使多个执行元件同时并相互独立地以不同速度和压力工作,直到所需流量总和达到泵总排量为止。比例减压阀在这里作为先导级使用,以其出口压力控制液动换向阀的正反开口量大小,控制液流的方向和流量的大小。

5.2.2.2 软件系统

本系统可以实现任意形状断面轮廓的自动截割,使用者可以随时设计、编辑和修改断面,在使用过程中还可以随时对断面轮廓进行平移、放大、缩小、旋转等微调操作。

1) 主要软件功能。

a. 掘进机的截割操作分为自动和手动两种方式,在自动截割成形模式下,系统预存多个巷道的截面图形轮廓线,操作人员选择某种图形后系统能够根据设计轮廓执行自动截割操作,自动截割时显示屏应能够显示掘进机截割头能够截割的最大区域、自动截割轮廓、截割头在轮廓中的实际位置、截割头的坐标信息等。

b. 系统可以存储多种巷道断面轮廓的信息,使用者可以根据实际需要预置的巷道断面轮廓信息进行修改,也可以自己编辑增加新的巷道轮廓信息参数并进行存储和随时调用。操作者还可以随时对断面信息进行微调,如:上下平移、放大、缩小、巷道底板平移等。

c. 系统在自动截割状态进行手动操作时具有超限位警告提示和禁止继续操作功能。

d. 截割头空间位置传感器更换型号或参数发生变化时可以在显示屏上进行传感器参数修改并存储,提高了系统灵活性、方便程序的移植。

e. 上位机显示画面能够显示设备的状态信息:电机电流、温度、电压、计时等,并能随着传感器参数的变化而修改。

2) 巷道断面自动截割成形控制显示菜单内容。

人机界面采用大屏幕液晶显示屏,能够实时地以图像的形式显示截割臂及截割头的空间位置及断面轨迹画面,显示非常直观,操作者可以通过屏幕随时了解到截割状态及位置,还能够显示系统的故障和报警信息,并具有信息记录和查询功能。见图 14 至图 16。

各个页面的参数均可以通过操作箱或遥控器的按键进行修改,参数修改设有各种权限,只有输入密码正确后才能取得相应的操作权限,提高了系统的灵活性和安全性。

5.3 恒功率自动调节系统

该机还具有恒功率自动调节系统。通过传感器采集截割电机的运行参数,判断出其运行状态,并将信息反馈到 IPC,IPC 经过处理后输出进刀调整的信息,以保证在规定的功率下高效工作,既提高了效率,又保护了电机不会过载。

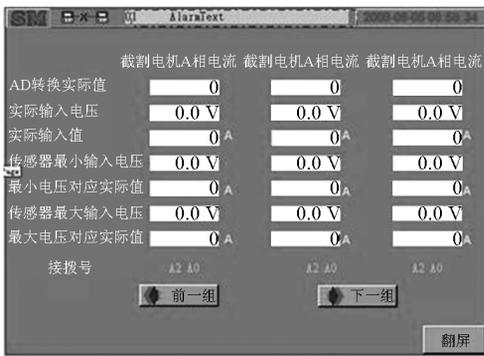


图 14 传感器参数设定页面

Fig. 14 Sensor parameter setting page

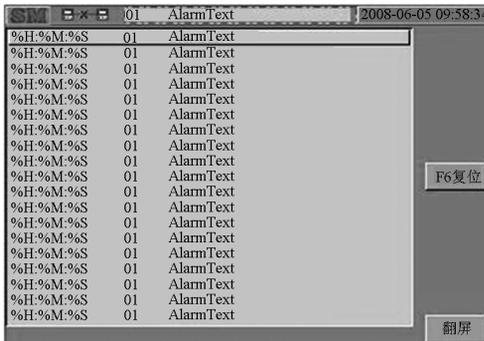


图 15 故障报警查询页面

Fig. 15 Fault alarm inquire page

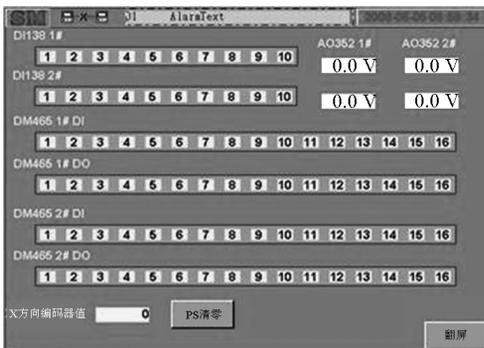


图 16 输入输出信息显示页面

Fig. 16 Information of input and output display page

5.4 巷道断面自动截割成形控制系统试验

1) 截割控制精度分析。为了充分认识并减小或消除误差,必须对误差进行理论分析,从而确定断面自动成形的控制精度。误差可能产生于以下几个环节。

a. 截割臂空间位置检测装置测量误差。分析油缸内置行程传感器的检测灵敏度,确定行程传感器

检测误差与断面边界控制误差之间的关系。从而,当确定传感器的检测精度后,可计算出边界控制误差范围。

b. 控制方法误差。自动截割步距的设定会引起边界的超挖或欠挖,步距值设定过小,误差值会相对减小,但是截割效率会下降;步距值设定过大,引起的误差将增大。确定截割步距与边界误差的关系式,从而选取能使截割效率相对较高、误差相对较小的截割步距值。

c. 掘进机升降、回转油缸惯性误差。当截割头运动到边界时,由于惯性的作用会产生一定的误差。由于无法实验室模拟与计算,拟定进行现场试验,测量掘进机升降、回转油缸惯性误差最大值。

2) 调试效果及所获结论。矩形断面的自动截割成形控制试验效果图如图 17 所示。

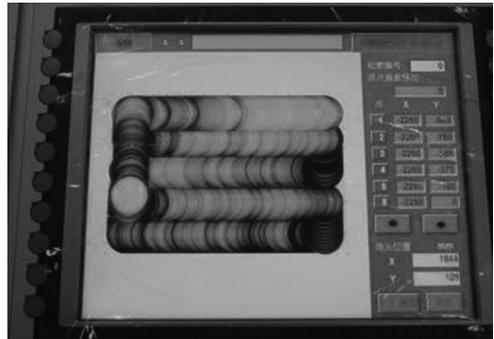


图 17 矩形断面类 S 路径截割图

Fig. 17 Rectangle section quasi-S type route cutting

梯形断面的自动截割成形控制试验效果图如图 18 所示。

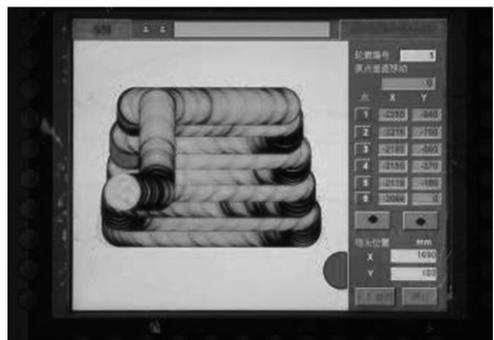


图 18 梯形断面类 S 路径截割图

Fig. 18 Trapezium section quasi-S type route cutting

目前掘进机自动截割运行试验效果良好,截割过程中掘进机机身无明显晃动,无累积偏差,截割断

面单边定位精度 < 40 mm, 回转重复精度 < 20 mm, 巷道断面自动截割成形完全符合煤巷质量标准要求。

6 结语

EBH300(A) 岩石掘进机于 2009 年 5 月份在新汶矿务局新巨龙矿辅一大巷 1# 联巷以北至 2# 联巷段投入使用, 长度约 600 m, 岩石硬度 29 ~ 116.2 MPa, 采用全断面锚喷支护。巷道断面为半圆拱, 宽 5.7 m, 高 4.3 m, 断面面积 23.8 m²。井深 810 m, 顶板岩石不稳固, 易于掉落。2009 年 7 月至 10 月平均进尺分别为: 4.55、4.52、4.12、4.5 m/d。目前累计进尺 2 700 m, 创造了岩巷掘进零事故的骄人成绩。目前已经有近十台在不同的岩巷掘进中应用, 掘进效率高, 运行稳定可靠, 得到了用户的认可。

实践证明 EBH300(A) 岩石掘进机的研制是成功的, 它拥有多项专利技术和世界先进的创新技术,

综合性能达到了世界先进水平, 是我国岩巷掘进最先进、最实用的重型装备, 使我国大型煤矿装备制造水平提高了一大步。

参考文献

- [1] 王金喜. 国外掘进机设计概述[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2007(2): 105 - 106.
- [2] 汪胜陆, 孟国营, 田 劫, 等. 悬臂式掘进机的发展状况及趋势[J]. 煤矿机械, 2007(6): 1 - 3.
- [3] 邢印成, 王凤林, 郭 滨. 掘进机的发展[J]. 煤炭技术, 2005(5): 5 - 6.
- [4] 毛 君, 吴常田, 谢 苗. 浅谈悬臂式掘进机的发展及趋势[J]. 中国工程机械学报, 2007(2): 240 - 242.
- [5] 王正华, 吴翠艳. 掘进机技术的发展[J]. 选煤技术, 2006(s1): 57 - 59.
- [6] 赵学社. 煤矿高效掘进技术现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2007(4): 1 - 10.
- [7] 马 跃. 谈我国悬臂式掘进机的发展及趋势[J]. 煤, 2006(2): 29 - 30.

The research and application of large power roadheader

Zhang Lansheng, Wei Jingsheng, Yang Yang, Song Yuehui

(Shijiazhuang Coal Mining Machinery Co., Ltd., Shijiazhuang 050031, China)

[Abstract] Developing rock roadway of coal mine is a hard task at present. Mechanized drivage of rock roadway has become a common technical problem of every coal mine. Shijiazhuang Coal Mining Machinery Co., Ltd. has researched and developed a rock roadway roadheader that has proprietary intellectual property rights and advanced technology, and can meet rock roadway drivage demand in China. We have achieved breakthrough in many aspects, such as heavy rocky roadway roadhead in the overall design, high reliability component design, stepless speed regulating variable automatic control hydraulic system technology, full remote control of intelligent electrical control systems.

[Key words] rock roadway roadhead; overall design technology; stepless speed regulation; full remote control; intelligent electrical control