

智能快速掘进工艺设备可行性研究

李永胜

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 010030

摘要: 智能化快速掘进的掘锚平行作业被认为是水文地质类型复杂矿井, 煤巷掘进最理想的作业方法, 该方法解决了及时支护问题, 实现了巷道掘进期间最短时间内控制围岩变形, 同时降低了巷道施工难度, 通过在空间上分离、时间上同步, 将掘进工程进行系统一体化设计, 通过装备创新构建掘进、支护、运输、除尘等工序的同步作业线, 达到提高成巷效率, 满足巷道进尺要求的目的。通过对巷道围岩高预应力锚固理论、空顶区顶板稳定控制、软岩流变理论和松动圈理论研究, 经过数据模型模拟计算, 最终确定了一套适合水文地质类型复杂矿井智能快速掘进工艺设备, 创造了矿区经济价值。

关键词: 智能化; 快速掘进; 理论基础; 数值模拟

1 智能化快速掘进的必要性

1.1 改进施工工艺, 采用单巷掘进

以掘锚一体机为龙头的快速掘进工艺采用单巷掘进, 无需开设联巷, 彻底避免无效掘进工程量与通风管理困难的难题, 充分利用掘锚一体机、锚杆转载机组上的不同钻臂排布位置、自身特点, 考虑不同地质条件的支护参数即锚杆(索)直径、长度、间排距等关键参数, 实现在不同空间、不同时间下多排多臂多段的平行支护作业, 有效提升进尺效率。

1.2 缩小空顶距, 提高安全可靠

1.2.1 永久支护: 掘锚一体机掘进后在形成的空顶、空帮区内进行支护, 掘1支1, 按照从外向里、先顶后帮、先上后下的顺序逐排进行支护, 最小空顶距缩短至2.5m, 空帮距缩短至4.0m。

1.2.2 临时支护: 超前滑移临时支护, 可向前滑移行程800mm, 减小空顶距(最大空顶距1.0m, 最小空顶距为0.2)。

1.3 提升巷道掘进智能化水平

掘进工作面智能化系统立足于整个掘进工作面, 以提高掘进工作面安全性、降低工人劳动强度、提高掘进施工效率和施工质量出发点, 结合当前掘进工艺和掘进装备的特点, 最终将工作面环境、设备和人员共融和谐地统一起来, 实现综掘工作面多设备自主、平行、安

全作业。智能化掘进工作面, 其智能掘进设备包括掘进设备、运输设备和远程集控系统等。

2 智能化快速掘进的可行性

2.1 相关理论基础

掘锚一体化高效掘进是建立在科学围岩控制前提下, 相关围岩控制理论及锚杆支护技术的发展为掘锚一体化高效掘进提供了相应理论基础。

2.1.1 高预应力锚固理论。现代锚杆支护理论认为: 提高锚杆预紧力是改善巷道支护效果、充分利用围岩自承载力的最有效途径。研究表明: 当锚杆预紧力达60kN-70kN时, 就可有效控制巷道顶板下沉, 并可加大锚杆间距, 减小锚杆支护密度。

2.1.2 空顶区顶板稳定控制理论。高效掘进迎头顶板支护密度低, 空顶区顶板安全问题是施工安全的关键。研究表明: 巷道掘进后的围岩应力分布存在明显的端头效应, 顶板支护强度增加不能明显减小空顶区顶板下沉量, 但能改善其承载状态, 为迎头提供较好的推进基础, 在后方30m-35m的支护区域, 支护强度对该区域的顶板下沉的影响十分明显, 该成果为高效掘进正确设计迎头空顶距离和滞后补强支护距离提供了理论参考。

2.1.3 软岩流变理论和松动圈理论。软岩流变理论指出巷道围岩塑性区应力分布具有明显的时变特性, 围岩压力的来源主要由围岩塑性变形产生, 而松动圈理论认为围岩变形是应力水平、岩块块度、岩体结构形式以及时间的函数。低应力巷道开挖后, 围岩处于稳态流变状态, 为掘进的施工提供了相对较长的作业期, 高效掘进需要实现快速推进和快速补强支护, 最大程度减小围岩变形。

通讯作者: 李永胜, 1987年6月, 汉, 男, 山西省大同市人, 华电煤业集团有限公司生产部技术员, 本科, 中级工程师, 邮箱: 31553974@qq.com, 研究方向: 安全生产技术管理、地质防治水管理、绿色矿山和智能化矿山建设。

2.1.4 锚杆支护动态信息设计方法。随着井下矿压监测手段的发展,现代锚杆支护设计实现了动态设计,根据顶板离层值、两帮移近量等监测指标动态调整支护设计,应用锚杆支护动态信息设计法,可根据地质条件的时变性动态调整支护工艺。

2.2 高效掘进围岩变形破坏规律及破坏机理

通过大量巷道围岩应力场、位移场的数值模拟,揭示了快速掘进围岩稳定性随支护强度和空顶距变化的影响规律:

2.2.1 顶板上方22m-25m范围内,垂直应力降低持续增加,增加梯度逐步放缓,超过该范围后逐步恢复原岩应力,明确表明快速掘进时巷道处于应力减小范围内,分段滞后支护并未改变巷道掘进应力场中垂直应力分布的大结构,在短期内保证人员及设备安全、围岩完整性与稳定性的情况下,快速掘进的分段支护是完全可行且有意义的。

2.2.2 随着锚杆支护数量的增加,顶板水平应力减小幅度较小。锚索滞后迎头17m支护能够达到迎头集中支护的围岩控制效果。

2.2.3 快速掘进过程中,巷道垂直应力最集中区域并非掘进工作面前方,而是滞后工作面20m以后,两帮10m深处的位置,应力集中系数达到1.58。

2.2.4 掘锚一体机身的顶板和两帮的临时支护支撑力至少达到190kN以上时,可有效平衡垂直应力,降低空顶范围内煤岩的塑性张拉破坏。

2.2.5 快速掘进巷道断面中,位移最大值通常是顶板两肩角周围向顶板中部和侧帮上部扩展,认为肩角周围应力集中并在时间作用下变形率先达到最大值,容易发生肩角闭合现象,位移变形向中部扩展贯通。

3 智能化快速掘进系统方案

3.1 掘进工作面工况监控和故障诊断系统

3.1.1 系统音视频监控,含有多路视频画面,掘锚一体机截割部安装2部高清摄像头、运输部和卸料部分别安装1路高清摄像头、机尾1路集成音频输入输出的摄像仪以及1路高清摄像头。视频监控系统可适应工作面粉尘环境,摄像头具有一定透尘能力。

3.1.2 掘锚一体机安装截割高度与掏槽深度传感器,并与导航数据关联,后配套设备都具备电流,压力等基本参数的检测与诊断功能;数据画面显示各传感器实时数据,并在醒目位置显示预警信息,同时各姿态信息与三维模型进行关联,实时显示设备各个执行机构的状态。

3.1.3 自移机尾液压系统中架体升降油缸回路、架体

(轨道)推移油缸回路、机尾左右摆动油缸回路都加装压力传感器,在架体(轨道)推移油缸内部加装位移传感器实现油缸行程测量;自移机尾前端和后端分别固定接近开关,防止掘进机带着转载机自主行走时转载机碰撞自移机尾前后限制装置和组合开关。

3.1.4 设备工作时,井下集控中心与地面集控中心具备同步语音报警功能

3.2 人员防入侵系统

该系统可同时设置报警区与停机区,在不同的区域报警器发出不同的声光报警信号,人员佩戴的标识卡通过震动和声音发出报警提示信息,同时输出对应的开关触点信号,控制设备停止行走或停机。

3.3 工作面数据远程传输系统

3.3.1 掘锚一体机及后配套关键数据、音视频信息采用无线+有线双冗余、双组合的方式实现数据的远程传输,保证掘进机在频繁调动机身不会出现拖、丢失、不稳定现象。无线传输采用5G/4G通讯技术,无线可靠传输距离 $\geq 50\text{m}$ 。

3.3.2 工作面设备与井下集控中心和地面调度室远程传输视频、数据和控制信号延时时间 $\leq 300\text{ms}$,根据矿上要求可以共建掘进工作网络通讯系统,对设备进行合理的网络管理。

3.3.3 系统预留RS485、CAN、Wifi、4G、5G、以太网电口/光口等通讯接口。

3.3.4 预留千兆光纤接口,可将上述信息上传至井下任意地方、矿井地面调度室以及集团公司调度室。

3.4 掘进工作面设备远程控制系统

3.4.1 自移机尾上机载掘进工作面用智能组合开关,实现对掘锚一体机、锚杆转载机、带式转载机、自移机尾等设备的集中供电和远程停送电。

3.4.2 实现就地、井下和地面三种控制模式。三种控制模式都可对掘锚一体机及后配套进行独立控制并相互闭锁,且能够实现一键紧急停机(急停按钮)。

3.4.3 地面调度室根据矿上现有风格,配置高性能计算机、显示器,嵌入式操作面板和语音通话设备,可按需配置控制面板,如一体机操作界面,按钮式操作面板,都可实现全功能远程控制。

3.4.4 井下集控中心和地面集控中心可实现所有设备的单机功能控制,多机设备协同控制和自动截割,自动行走,自动锚护等功能。

3.5 断面截割成形控制系统

通过截割高度和掏槽深度传感器实现截割头的高度

与深度检测，通过导航数据和算法实现机身的位姿检测，通过机身倾角传感器实现机身俯仰角检测。系统利用位姿解算软件实现截割头位姿数据解算，经控制单元计算出巷道空间下截割头实时位置。根据巷道实际条件，操作人员通过遥控器和上位机进行巷道边界标定、截割轨迹示教并存储截割路径及控制工艺，通过选择记忆截割模式实现巷道掘进一个循环内断面截割自动成形，保证巷道成形标准化。

3.6 锚杆机电液控系统

锚杆机电液控系统由电液控制面板、显示器、和电磁阀箱组成，能够实现锚护工作中的自动钻孔、自动紧固锚杆和宽范围速度调节，具备半自动化钻孔、工况在线监测、故障诊断、锚固质量自检验等功能。采用本机遥控冗余控制、操作面板或遥控器控制按键替代传统的液压操作手柄。

3.7 自主导航系统

采用组合导航方式实现机身定位，巷道悬挂全站仪，通过无线通讯与机载导航控制箱进行实时数据交互，实现惯导定位数据实时补偿。通过测距传感器与导航控制箱实现机身距侧帮和机身距迎头的实时距离检测。导航控制箱同时配备UPS电源箱，保证掘进机频繁停

送电状态下不用频繁初始化惯导系统。系统利用位姿解算软件实现截割头位姿数据和机身位姿数据融合，经控制单元计算出巷道空间下截割头实时位置，在误差范围内准确的实现截割位置轨迹监测。

结束语

掘锚一体机成套装备的智能化控制系统方案进行了详细研究与分析，可配备基于网络化分布式控制架构，具有自主组网、自动截割、健康预测、多机群协同作业、人员防入侵等智能化控制功能，内容充实、数据准确，符合国家智能化矿山建设的要求。

与原有掘进方法相比，智能快速掘进工艺设备有效降低了工人劳动强度，实现了减人增效，可缓解采掘失衡，提高了煤巷安全系数，为企业降本增效，为国家创造价值。

参考文献

- [1]葛世荣.智能化采煤装备关键技术[J].煤炭科学技术, 2014,42.
- [2]王国法, 刘峰.中国煤矿智能化发展报告[M].科学出版社, 北京, 2020.
- [3]葛世荣.煤矿智采工作面概念及系统架构研究[J].工矿自动化, 2020, 46.