

## 案例 21 可可盖煤矿超长斜井全断面智能掘进系统

主要完成单位：陕西延长石油矿业有限责任公司

### 一、主要建设内容

可可盖煤矿是陕西延长石油（集团）有限责任公司在“十四五”期间的重点项目，该矿井坐落于陕西省榆林市榆阳区小纪汗镇，井田面积 177km<sup>2</sup>，可采储量 12 亿 t，设计产能 1000 万 t/a，服务年限 88.5a，建设有主、副斜井，中央进、回风立井以及北一回风立井，全矿井采用分区式通风。作为在建的大型矿井，可可盖煤矿秉承“智能化建井，建智能矿井”理念，在建井全机械化和远程操控平台的基础上，建立集智能感知、智能决策和智能控制为一体的智能控制平台，探索出切实可行的斜井智能化建井模式。

可可盖煤矿采用主、副斜井开拓方案，主斜井设计全长 5304.9m，5.6°缓坡下山；副斜井全长 5302m，6°缓坡下山，每隔 1000m 设 50m 的缓冲平段。采用全断面敞开式掘进机施工基岩段，断面形状为圆形，掘进断面面积为 39.9m<sup>2</sup>，采用锚网喷联合支护。可可盖煤矿基于全断面敞开式掘进机，斜井施工采用全机械破岩工艺，实现了斜井“探-掘-支-锚-运”五大工艺的机械化作业，为建井模式智能化奠定了工艺基础。可可盖煤矿进一步借助物联网、智能感知、大数据、5G 技术、仿真技术、云计算等新兴技术，联合铁建重工集团，结合煤矿敞开式斜井施工工艺，研发了全断面掘进机智能掘进控制系统（图 1），将五大工艺中的掘进工艺实现了全流程智能化控制。



图1 全断面掘进机主机组装完成

### （一）掘进机智能控制系统

根据地质勘察数据与实际掘进参数，建立围岩可掘性的动态评估模型，并物联网与远程高效视频监控技术，研发出全断面掘进机掘进装备运行智能监测控制系统。掘进机智能监测控制系统（图2）通过围岩特性分析结果和方位感知，实现对推进速度、掘进状态、刀盘转速等多动作多功能区的智能控制。

### （二）方位感知

全断面掘进机精准钻进和装备姿态智能调控系统，建立了激光+传感器组合导航系统，直观实时掌握设备姿态和偏离设计轴线路程度，同时以数值的形式准确地描述全断面掘进机设备主机前部与后部相对于巷道设计轴线的实际偏移量，通过地层处理和远程操控技术实现装备姿态调整和掘进方向的精准控制。



图2 掘进机智能控制系统

### （三）截割部工况感知与过载保护

基于截割部温度、压力、转速等感知原件，智能控制系统可自主分析掘进机工作时各系统运行状态，并通过掘进机工况报警子系统，预警故障。根据报警信息，掘进机操作人员可切换至人工控制操控掘进机，智能控制系统会将人工控制动作进行分析并自主学习。此外，针对刀盘温度过高、刀盘压力过载等严重问题，智能控制系统会通过自分析决策，启动刀盘及相关附件自我过载保护。

#### （四）自动喷混系统

混凝土喷射系统主要由混凝土输送泵、喷射机械手、供电及电气控制装置、液压驱动装置、速凝剂泵送系统和平台附件构成。整套系统安装在喷混桥上实现与全断面掘进机掘进同步混凝土喷射支护，全断面掘进机喷混系统已预设喷浆泵压力、机械手移动路径，并可远程控制喷混系统启停。

#### （五）智能化支护系统

全断面敞开式掘进机的支护环节主要包括锚杆索施工、钢拱架安装、仰拱块铺设和全断面喷浆，协同智能控制上述四个施工环节，是智能支护控制系统的主要内容。本案例通过信息化、全面感知、智能控制等前沿技术相融合，研发了基于全断面智能掘进信息互联协同控制的智能支护系统。智能支护系统通过分析人工支护方式作业运动原理，模拟人工施工行为动作，极大提高了支护作业智能化。

#### （六）推进控制系统

全断面敞开式掘进机调向直接简便，可适应可可盖煤矿 6°斜井的掘进调向及防栽头，其具体调向方式为：调节扭矩油缸伸出和缩回来进行上下调向，调节左右撑靴油缸行程差来进行左右调向。

#### （七）车辆失速智能保护

车辆失速智能化柔性拦截系统采用先进的通信、监测、信息处理、计算机等技术构建，以无线通信技术（无线传感器网络）为技术基础的井下无轨胶轮车运输监控系统，使用工业以太环网网络和无线传感器网络的网络结构，实现对煤矿井下无轨胶轮车运输的监测、控制、拦截管理等功能，提升车辆运输系

统安全及效率。该系统集监测监控、智能预警、智能联动、融合共享及数据可视化于一体，具有设备自诊断、通信双保障、拦截双触发、车辆准拦截、拦截柔性化、控制智能化等优点。该系统安全可靠维护方便，具有较好的安全性和实用性。

## 二、技术特点及先进性

本案例研发了煤矿超长斜井全断面敞开式掘进机掘进成套工艺技术装备体系，突破了“深埋超长、连续下坡、地层富水、地层多变、岩性软弱”复杂地质条件斜井智能化高效建设的工艺技术装备瓶颈，展现出了机械化程度高、无需爆破作业、井下人员少、施工效率高、施工质量好、安全性高等诸多优势。项目创建了“有人安全巡视、无人掘进操作”的安全高效建井新模式，将矿工从危险环境中及高强度劳动中解放出来。具体表现在：

1.本案例创新采用智能化、全机械化破岩技术，相对于钻爆法施工减少炸药消耗量约 1100t、雷管约 140 万发，减排二氧化碳 220t；机械破岩对巷道围岩扰动小，减少了超欠挖，减少了支护材料消耗，节约了支护成本；全断面敞开式掘进机智能掘进技术装备大幅度减少了斜井掘进工作面作业人员，掘进效率较传统综掘法、钻爆法分别提高了 3 倍和 5 倍以上；实现了“无人则安，少人则安”智能安全建井模式的成果实践，改善了矿工的作业环境。

2.项目研究成果创新了全断面敞开式掘进机智能掘进工艺技术体系，实现了复杂地质条件下全断面敞开式掘进机施工超长（>5000 m）斜井施工，是我国煤矿智能化建井技术的重大技术突破，具有安全可靠、绿色低碳、高效智能等多方面优势，在我国矿井安全高效建设方面具有显著的应用潜力和价值。

## 三、智能化建设成效

项目研究成果是智能化建井领域重要实践，将为煤矿智能化建设提供有力技术支撑，为我国西部煤炭资源高效煤矿开发建设提供了可复制、可借鉴、可推广的智能化建井新模式，具有典型的示范引领作用。