



# 工业以太网智能开采控制系统

李森 李首滨 付振 肖耀猛 林恩强 赵岩峰 魏文艳 亓玉浩 刘清 徐亚军 冯银辉  
李昊 王峰 赵杰 姚钰鹏 王统诚 王朕

## 研究背景

### 存在问题

随着综采工作面自动化、智能化采煤的深入研究和推广，基于单线低速CAN总线的支架控制系统在数据传输、实时性方面已经显现出一定的局限性。控制系统的架间通信带宽低，通常仅有几十至几百kbit/s，控制延时通常大于200 ms，且存在通信接口种类多，协议不统一，软件平台适应性差，单工作面需要开发定制化应用软件的问题，导致开发周期长；控制系统对不同地质条件和工况的适应能力不足，在生产过程中，工作面底板较软时支架易扎底，难以移动，顶板破碎时易出现漏矸、冒顶，大倾角工作面易出现成套装备上窜下滑，另外，煤机牵引速度超过8 m/min时，液压系统无法保障支架快速升降；机头、机尾、超前支架与工作面“三机一架”不能自适应推进，没有合适的两巷设备位姿感知、导向控制手段，设备控制相互独立，设备联动依赖岗位工线下沟通协作。

## 研究现状

在“十二五”期间，我国在地质条件较好的综采工作面上基于液压支架跟机自动化、采煤机记忆截割的常态化运行，实现了可视化远程干预式智能开采，但在常规地质条件下，仍无法实现智能开采。要解决上述难题，工作面架间通信带宽需要进一步提升，同时需要一套更加先进的智能开采控制系统。

在煤矿井下的电控应用场景下，此前德国的EEP、Marco公司曾推出了基于工业以太网的电液控制系统，但因受限于其单一的网络链路，仅在国内局部试用，且效果不佳。目前，国内尚无厂家将工业以太网引入矿井环网，基于这种情况天玛智控提出了总线与工业以太网相兼容的新一代电液控制系统总体构想。

## 研究内容

### 解决方案

工业以太网作为第三代工业通信技术，因带

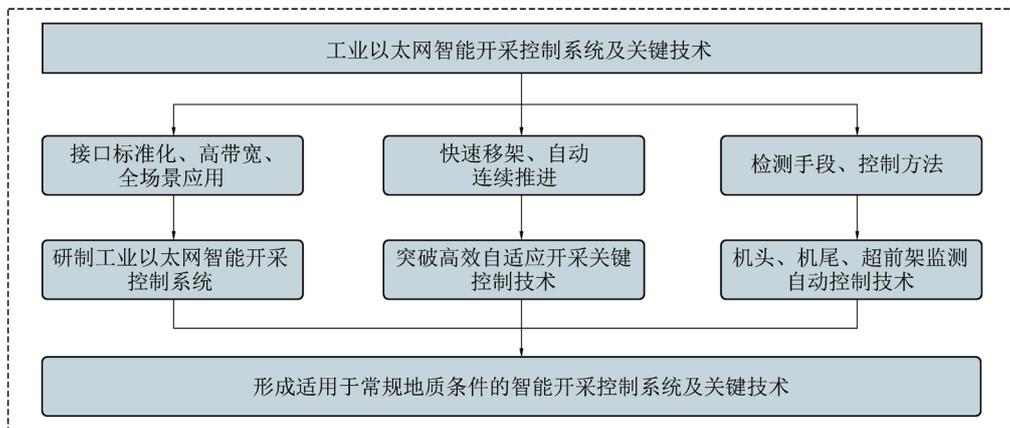


图1 工业以太网智能控制系统技术方案

宽高、时延低的优势正逐步取代工业现场总线成为工业控制系统的主流通信技术。基于工业以太网，采用总线与网络相兼容方案，构建新一代智能开采控制系统，既保留了现场总线的高确定性，又融合了工业以太网的高带宽优势。具体技术研究方案包括(图1)：

- (1) 研发工业以太网智能开采控制硬件平台，实现控制系统接口标准化、高带宽及全场景应用。
- (2) 突破高效自适应开采关键控制技术，开发相应软件使综采工作面能够快速移架及自动连续推进。
- (3) 设计机头、机尾、超前支架自动控制方法，形成适用于常规地质条件的智能开采控制系统及关键技术。

## 创新点与技术突破

### 创新点一：研发了工业以太网智能开采控制系统和支持全场景应用控制软件平台

- (1) 国内首次成功研制基于工业以太网的液

压支架智能控制系统(图2)，将工作面电液控制系统纳入工业互联网体系，控制系统环网带宽首次达到1 000 mbit/s，同时将两巷的控制接入工作面统一的网络，不仅精简了系统，而且实现了“一网到底”，有效解决了此前控制系统速率低、实时性不足、通信链路复杂的问题。

(2) 研制了网络型控制器、低功耗电磁阀驱动器、5G/WiFi6无线基站等关键产品(图3)，整合了原有的电液控制系统、综采自动化系统，首次将工业以太网标准引入到煤炭领域，并且通过调整信号发射功率、优化线路阻抗，架间两芯网络通信距离大幅提升，满足架间通信的需要。

(3) 开发了全场景应用的控制软件开发平台，实现了一版软件多端部署的目标。在上位机、嵌入式控制器、linux终端，均可下载应用；采用组态化开发技术，实现“零代码”开发，以及中部跟机、三角煤截割等业务功能模块化设计，覆盖了常规工作面的全场景应用，解决软件定制化时间长的问题。

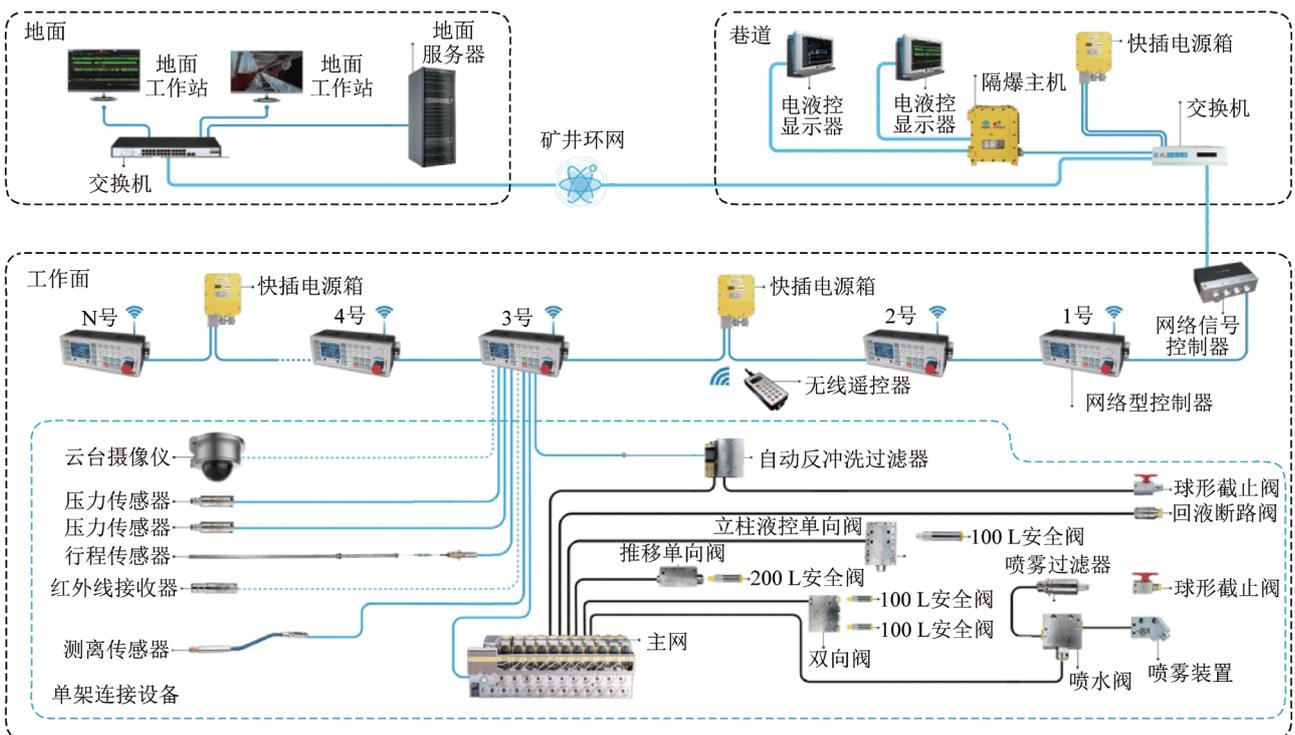


图2 工业以太网智能开采控制系统



(a) 网络型控制器

(b) 低功耗电磁阀驱动器

图3 工业以太网智能开采控制系统关键产品

**创新点二：揭示了工作面液压系统压力流量动态变化规律，突破了支架跟机效率和地质条件适应性技术瓶颈，实现了工作面液压支架自动连续顺畅跟机**

(1) 构建了液压系统全流场数字化模型，攻克了用液与供液的量化高效预测预判技术难点；开发了液压系统状态量化和支架协同控制技术，实现跟机参数与液压系统的自动匹配，跟机过程中液压系统压力波动范围降低50%，支持13 m/min的跟机速度，此项技术的创新提升了跟机移架的效率。

(2) 开发了普适型液压支架跟机自动化控制技术。针对顶板破碎、片帮严重的工作面，设计了顶梁主动调平衡、煤机机身上超前移架等自动控制方法；针对大倾角工作面，设计了分组锚定顺序调架控制方法；针对底板较软的工作面，设计了循环降移抬底控制技术；平均自动移架时长较常规降移升速度提升20%。此项技术的创新大幅度提升了控制系统对不同地质条件和工况的适应能力。

(3) 开发了多端部署的longwallmind 5.0系统软件，具备设备集群联动、故障预警等功能；可嵌入到微信小程序实现轻量化应用，独立的移动app可灵活部署在手机、平板、大屏等终端，提供采煤动效、数据分析报表等功能，实时数据容量达到10万点，超过原有系统5倍以上。

**创新点三：首创了两巷设备协同控制模型及控制策略，研发了工作面两巷设备自移与协同推进控制技术**

研发了机头、机尾三维空间定位技术。融合可见光视频识别与激光扫描，实现设备与巷道两帮距离的自动测量，系统整体测量精度为100 mm。

开发了超前支护设备姿态感知、自主导向控制系统，在超前支架底座、顶梁上安装倾角、高度、超声波传感器，实时感知支架姿态，通过电液控系统调控支架位置，实现自动控制，满足工程应用。

基于工业以太网的智能开采控制系统在控制系统架构、装备姿态检测精度、控制实时性等关键性能指标方面具有明显优势，并且实现了以下多项技术突破：

(1) 创新设计了适用于综采工作面的工业以太网通信技术。

(2) 创新提出了工业以太网、现场工业总线多链路冗余通信控制方法。

(3) 开发了基于工业以太网的跨平台应用架构技术。

(4) 创新设计了综采工作面液压支架控制系统的图形化、参数化开发技术。

(5) 首创了适用于综采工作面的工业以太网与现场工业总线融合的网络型控制系统。

(6) 开发了适用于工作面底软、顶板破碎、大倾角等地质条件的普适型液压支架跟机自动化控制技术。

(7) 首创了工作面两巷设备自移与协同推进控制技术。

## 推广应用情况

### 应用效果

工业以太网智能开采控制系统在华阳新材料科技集团有限公司山西新元煤矿（以下简称新元公司）、兖矿能源集团股份有限公司济三煤矿（以下简称济三煤矿）等开展了示范应用，形成的无人化智能开采控制系统运行可靠，效果显著。

新元公司示范工作面完成了“可编程网络型智能控制平台”工业性试验（图4）。可编程网络型智能控制平台代替了原有的SAC、SAM系统，与原有综采工作面控制系统相比减少了综合接入器设备30~40台，电源箱数量减少50%，减少连接器



图4 网络型智能控制平台在新元31004工作面应用

布置超过100条，节约了大量设备采购成本。

济三煤矿示范工作面完成了智能开采控制系统成套化应用，建成山东能源集团首个薄煤层智能化工作面，采场工作人员由原来的7人（采煤机司机2人、支架工3人、输送机机头岗位工2人）减少至工作面内无人跟机巡检作业（工作面生产期间上下端头各安排1人进行设备运行及煤机截割端头监护，安排班组长1名，工作面内无人）。

### 推广前景

工业以太网智能开采控制系统的研究成果满足了我国发展高产高效、无人开采工作面的迫切需要，系统运行稳定可靠，将有力提升综采工作面成套装备的总体技术水平，适合我国大部分煤矿的实际情况，具有广阔的应用前景。

■ 责任编辑：李艾稣

#### 作者简介：

第一作者：李森，副研究员，硕士。

E-mail: lisen@tdmarco.com

作者单位：北京天玛智控科技股份有限公司；

兖矿能源集团股份有限公司；

华阳新材料科技集团有限公司；

中煤科工开采研究院有限公司；

煤炭科学研究总院有限公司

## 热点问答

### 透明化三维模型构建规范的建立

透明化矿山建设的重要基础是规范化三维模型的建立。同时，为了实现煤层的透明化，必须尽量探明煤层的空间形态、断层和瓦斯以及陷落柱、岩石力学特征等的分布状态，以满足大数据分析、远程控制和智能开采的需求。另一方面，建模精度的提高必然造成工程费用的增长。为此，必须建立1套满足智能开采的三维模型技术规范，以求得建模成本和模型精度要求之间的平衡。为实现回采工作面的完全透明化，就必须实施足够多的钻探和物探工程，但没有必要一次性投资完成，特别是那些空间形态简单、稳定的煤层，结合实时的煤岩层识别成果，就可以保证煤壁附近的地质信息透明化。所以，制定满足智能开采需求和成本控制的三维模型构建行业标准势在必行。

——来源：《中国煤矿智能化发展报告（2020年）》