

# 互联网+大采高工作面智能化升级关键技术

王国法 李占平 张金虎

(天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013)

**摘要:**为实现煤矿少人化、智能化、无人化开采的目标,将互联网、大数据、云计算、人工智能化等与煤炭行业深度融合,结合红柳林煤矿大采高工作面自动化建设现状,通过分析研究将高清可视化技术、姿态监控技术、防碰撞技术、人员安全感知技术、EtherNet/IP通信技术、远程技术支持平台建设等关键技术应用于大采高工作面智能化升级改造设计,以实现工作面减人提效、安全高效自动化生产的建设目标。最终通过项目实施,总结“互联网+大采高工作面智能化”开采经验,将有力促进数字化智能化矿井建设,推进全国煤矿安全生产形势稳定好转和煤炭工业可持续发展。

**关键词:** 互联网+; 大采高工作面; 大数据; 云计算; 智能化控制; 两化深度融合

**中图分类号:** TD67 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)07-0015-07

## Key technology of intelligent upgrading reconstruction of internet plus high cutting coal mining face

Wang Guofa, Li Zhanping, Zhang Jinhu

(Department of Mining and Design, Tiandi Science and Technology Company Limited, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to realize a target with a less personnel, intelligent and unmanned mining in the coal mine, the internet, big data, cloud computing, artificial intelligent and others were in-depth integrated with the coal industry. In combination with the automation construction status of the high cutting coal mining face in Hongliulin Mine, with the analysis and study, the high definition visualization technology, attitude monitoring technology, anti-collision technology, personnel safety perception technology, EtherNet/IP communication technology, remote technology support platform construction and other technology were applied to the design on the intelligent upgrading reconstruction of the high cutting coal mining face in order to realize the target on the personnel reduction and efficiency improvement of the coal mining face and the safety and high efficient automatic production. Finally, with the project implemented, the paper summarized the mining experiences of the “internet plus high cutting coal mining face intelligent”, which would powerfully promote the digitalized intelligent mine construction and promote the stable and good safety production situation of the national coal mines and promote the sustainable development of coal industry.

**Key words:** internet plus; high cutting coal mining face; big data; cloud computing; intelligent control; in-depth integration of intelligent and unmanned

## 0 引言

煤炭是我国主体能源,安全智能、绿色高效矿井是我国煤矿发展的主要方向。特别是近年来,在国家发展“互联网+”战略方针的大力推动下,以实现

少人化、无人化开采为目标的智能化开采技术成为煤炭开采的主要发展趋势<sup>[1]</sup>。在此背景下,陕西煤业化工集团神南矿业公司(以下简称神南公司)提出“三型四化”(三型,即本安型、生态型、智能型;四化,即机械化、自动化、信息化、智能化)煤矿建设要

收稿日期:2016-05-01;责任编辑:杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.07.003

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2014CB046302)

作者简介:王国法(1960—),男,山东文登人,研究员,博士生导师,中国煤炭科工集团首席科学家,现任天地科技股份有限公司开采设计事业部开采装备技术研究所所长。通讯作者:李占平, Tel: 13581951511, E-mail: 13581951511@163.com

引用格式:王国法,李占平,张金虎.互联网+大采高工作面智能化升级关键技术[J].煤炭科学技术,2016,44(7):15-21.

Wang Guofa, Li Zhanping, Zhang Jinhu. Key technology of intelligent upgrading reconstruction of internet plus high cutting coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 15-21.

求,并依据矿井建设现状,提出“智能型”升级工作思路,即以“机械化、自动化”为基础,以“信息化”为载体,以“智能化”为核心,通过现代化信息技术和智能技术应用,推动工作面生产的智能化,提高效率,促进安全生产水平,最终将神南矿业公司打造成国内一流、国际领先的现代化企业。

目前,在以“智能化”为核心的综采工作面开采技术方面,美国、德国和澳大利亚的煤炭企业发展较早,综采工作面智能化的研究取得了一定的成功,通过采用计算机技术、采煤机记忆截割技术、电液控制技术和变频软启动技术等,在地质条件好的中厚煤层实现了工作面3~5人的全自动化割煤,并探索实现工作面无人的智能化开采。我国的煤炭科研单位和煤机制造企业在引进国外技术的基础上,对工作面自动化、智能化等技术进行了深入研究,在采煤机智能控制、液压支架围岩智能耦合电液控制、刮板输送机智能控制、工作面智能供液、综采工作面集中控制等技术方面取得了突破,并在神华、中煤、陕煤等矿业集团进行了智能化工作面的探索与尝试<sup>[1-4]</sup>。其中,以神东锦界煤矿、黄陵一矿应用最佳,实现了“工作面内无人操作,有人跟机巡视”的自动控制常态化生产。

但是,国内外在厚煤层和特厚煤层综采工作面智能化开采方面进展较慢,其原因是多方面的,如开采高度大、强度高,对煤机装备稳定性、可靠性要求高,煤壁易片帮、顶板易冒落,各煤机设备间总体协调性较差,煤尘大,视频清晰度和传感器灵敏度较低等。基于此,笔者拟在红柳林煤矿厚煤层工作面原有采煤机、液压支架、刮板输送机等单机子系统的基础上进行智能化升级改造,使工作面达到“主动感知、自动决策、远程控制”的智能化开采技术水平<sup>[5]</sup>,实现大采高工作面智能化开采的新突破。

## 1 大采高工作面建设现状

红柳林煤矿设计生产能力12.0 Mt/a,主采2-2、4-2和5-2煤层,其中5-2煤层厚度为1.15~9.30 m,平均5.87 m。根据红柳林煤矿“三型四化”建设规划,拟对5-2煤层25207综采工作面进行智能化升级改造。该工作面倾向长度350 m,走向长度3 000 m,开采高度6.0 m。工作面配套选用ZY12000/28/63D型液压支架、7LS7型采煤机、SGZ1250/3000型刮板输送机、S375型乳化液泵站和S300型喷雾泵站。

25207综采工作面智能化控制系统拟在原15205大采高综采工作面自动化控制系统的基础上,通过增加装备和技术手段实现智能化升级改造。15205大采高工作面自动化控制系统基本实现了采煤机记忆割煤、液压支架自动跟机、运输系统集中控制、泵站集成供液等单机子系统的自动化,并能在巷道实现远程启停控制。但经过半年多的生产使用逐渐暴露出了一些问题:①工作面煤尘较大,视频摄像仪清晰度不够,不能为巷道远程控制提供视频依据;②支架与采煤机相互干涉,易割护帮板;③支架姿态监测传感器较少,不能准确判断支架的高度、俯仰情况、支护状态等;④支架护帮板给力不足,易造成片帮,压死刮板输送机;⑤工作面连续推进过程中,还不能实现自动找直;⑥缺乏统一的通信平台,各子系统间协调性较差;⑦自动化控制系统未与矿压、安全等其他子系统实现联动控制,有很大的安全隐患;⑧系统出现故障后,维修周期较长,影响工作面产量。由于以上问题,该套自动化系统最终未能实现“工作面内无人操作、有人跟机巡视、远程遥控操作”等技术要求,常态化生产情况下自动化控制系统结构组成如图1所示。

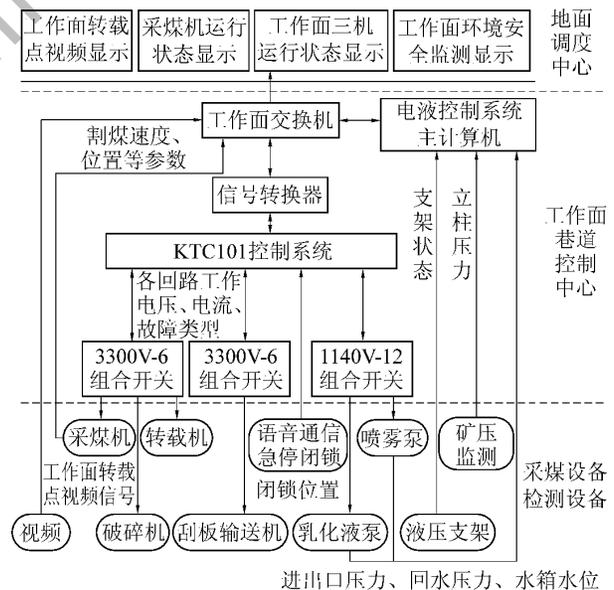


图1 15205大采高工作面常态化生产情况下自动化控制系统结构

Fig. 1 Structure of automatic control system for No.15205 large mining height working face under normal production condition

## 2 大采高工作面智能化升级改造总体思路

“互联网+”背景下,大采高工作面智能化升级

改造设计要充分发挥互联网技术在生产要素配置中的优势和集成作用,通过井下集控、地面远控,实现工作面自动化生产、少人化操作、系统故障预判、减少停产时间、提升产量。

25207大采高工作面配套的采煤机、液压支架、刮板输送机、泵站等单机子系统自动化已能满足智能化工作面建设要求,但每个综采设备都是相互独立的,还不能完全实现煤矿综采智能化<sup>[6]</sup>。因此,为解决这一问题,首先需增加各类智能型传感器,包括压力传感器、倾角传感器、环境监测传感器和高清云台摄像机等,实现对工作面设备工况和运行环境的充分感知,并在各单机子系统层级之上构建统一开放的工业以太网控制网络,将单机设备信息和工作面环境信息及时汇集到巷道监控中心,供其分析决策与控制,最终在巷道监控中心实现工作面设备的远程控制与地面一键启停控制<sup>[7-8]</sup>。系统集成厂家通过建立远程技术支持平台,实现对工作面煤机装备和控制系统的远程技术支持,保障工作面智能化系统的稳定性、可靠性和安全性。25207大采高工作面智能化升级改造总体方案如图2所示。

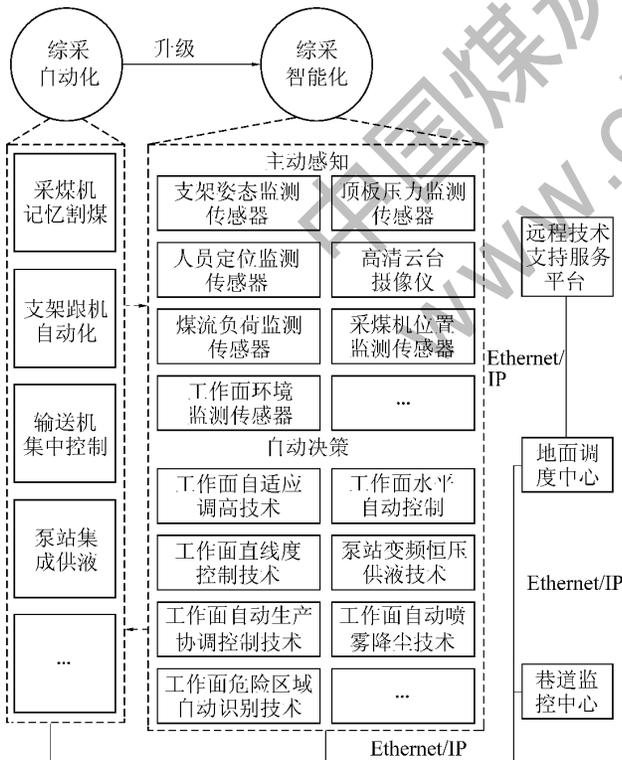


图2 25207大采高工作面智能化升级改造总体方案

Fig.2 Overall scheme of intelligent upgrading and reconstruction for No.25207 large mining height working face

### 3 大采高工作面智能化升级改造关键技术

#### 3.1 工作面高清可视化技术

工作面智能化开采,需将远程操作人员的视觉延伸到综采工作面,通过在工作面安装摄像机,实时跟踪采煤机附近场景,实现对工作面设备运行情况的全方位视频监控,特别是要实时监视采煤机与液压支架动作的关联与干涉,防止采煤机与液压支架发生碰撞<sup>[2]</sup>。由于25207大采高工作面倾斜长度较大,工作面有200台支架,需实施远程控制的设备较多,为了减少综采工作面的视频盲点,设计采用带有云台机头的摄像机,云台摄像机可水平180°旋转,俯仰60°旋转,视频覆盖范围广。另外,由于大采高工作面配置的光线不足,设计要求带有红外补光,在照度仅为10 lx的情况下依然可以清晰成像<sup>[4]</sup>。大采高工作面煤尘较大,因此摄像机设计配置自除尘装置。摄像机定期对图像进行识别处理,判断摄像机镜头是否被煤尘等污染,并发送污染状态给支架控制器,支架控制器操作喷水装置对摄像机进行清洗,从而实现摄像机的自动除尘<sup>[6,9-10]</sup>。

25207大采高工作面高清视频监视系统结构组成如图3所示。在工作面每6架布置1个云台摄像机,摄像机直接安装在顶梁上,通过摄像机能够监测采煤机滚筒在生产过程中进行截割的界面。摄像机信号传输通过以太网电缆传输到工作面端头交换机,由工作面端头交换机接入到巷道监控中心交换机,最终接入到自动化平台和视频显示上位机。在工作面端头转载机处、破碎机处、设备列车泵站处各布置1台云台摄像机,转载机处和破碎机处摄像机通过以太网电缆接入到工作面端头交换机,泵站处摄像机通过以太网电缆直接接入到巷道监控中心交换机进入到自动化平台。

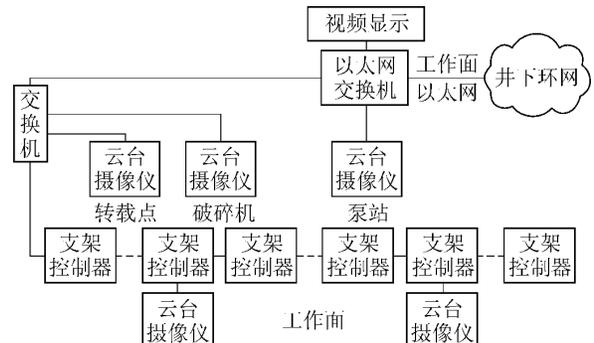


图3 工作面高清视频监视系统结构

Fig.3 Structure of HD video surveillance system in working face

### 3.2 支架姿态监控技术

25207综采工作面ZY12000/28/63D型液压支架高度6.3m,因此对支架各种姿态的监控就显得尤为重要。设计通过在支架上安装测高传感器和倾角传感器,实时监测支架高度、支架所在工作面的俯仰情况、支架是否左右倾斜、顶板与底座是否存在扭曲角度、支架是否处于理想支护状态等,同时可在巷道监控中心绘制出支架的实时3D状态,以便更直观地了解工作面支架的详细情况。

当支架高度超出预先设定值6.1m、角度(顶梁与掩护梁夹角)超出预先设定值 $175^\circ$ 时进行报警,并通过调整液压支架立柱和平衡千斤顶对液压支架的姿态进行自动调整,实现顶梁和顶板的及时支护、防止结构件损坏、预防倒架、咬架,使液压支架始终处于良好姿态。

另外,因工作面顶底板条件复杂,相邻支架会形成高度差,若高度差过大( $>700\text{mm}$ ),则会存在导致顶部煤岩从架间掉落的可能性,存在严重的安全隐患。设计通过测高传感器及时准确地测量出工作面所有支架高度,经过系统的数据统计和实时数据采集,可以得出当前工作面液压支架高度参考线,根据参考线控制支护过高、支护过低液压支架立柱和平衡千斤顶动作,合理调整支架高度,以确保被控支架的高度与相邻支架相比不会超出允许范围。

### 3.3 立柱压力监测预警与防片帮控制技术

煤壁片帮的概率随着采高的加大而增大,严重的煤壁片帮对大采高工作面的正常生产造成了很大的影响。片帮飞出的煤块易撞击到支架立柱,损坏设备;大面积片帮时易压垮刮板输送机;工人在架前处理大块煤时工作量大且危险,严重影响工作面安全高效开采。因此,大采高工作面须对立柱、护帮板进行支护强度监控,实现对煤壁和顶板的及时防护。设计通过在立柱和护帮板上安装压力传感器,实时监测支架压力变化,若相邻多台支架在正常升架后,压力有严重超高的情况,煤壁则将存在严重的片帮和冒顶风险,此时控制器发出声光报警,且在集控主机上也有报警显示。在发出报警信号的同时,控制器通过对立柱压力和千斤顶压力进行自动补压控制,实现对顶板煤层的有效支撑,提高液压支架前端的支护强度,使护帮能够更好地护住煤壁,从而达到防片帮、漏顶智能控制。

### 3.4 采煤机与支架防碰撞技术

25207综采工作面设计在液压支架顶梁布置

KHJ12型接近传感器,护帮板上安装感应板,用于检测液压支架护帮板的收回状态。当采煤机在运行过程中向前进行割煤时,如果接近传感器检测到护帮板收回至感应区域( $\leq 8\text{cm}$ )时,控制器显示护帮板已收回;如果接近传感器未检测到护帮板有效收回时,控制器给采煤机发出停止信号,并提醒工作面巡视人员及监控中心内操作人员,尽快对出现的故障情况进行确认与排除,避免支架在跟机自动化过程中与采煤机滚筒相碰撞<sup>[3]</sup>。

### 3.5 工作面自动找直技术

原15205工作面在采用自动化生产模式连续采煤4~5个循环后,由于传感器误差和液压支架与刮板输送机连接耳间隙窜动量的累积,使得工作面的液压支架推移不齐,刮板输送机直线度无法保证。当累积误差过大时,使得刮板输送机整体不在一条直线上,从而导致生产过程中功率损耗增大,严重时可导致损坏刮板输送机、采煤机等事故,此时必须进行人工调整后才能继续生产<sup>[3]</sup>。

基于此,25207工作面设计通过监测支架姿态、位置信息等,对液压支架推移千斤顶的行程进行实时精确控制,最终达到对刮板输送机直线度调整的目的。工作面自动调直命令启用要结合工作面顶板压力的状况。当自动调直命令激活后,工作面支架自动进入调直状态,其动作流程如图4所示。第1次调直修正,当采煤机从前方经过后,处于工作面最前端的支架向前推进 $2/3$ 步距,且该支架的所处位置可作为其他支架前进的参考点,滞后支架推进到与最前端支架并齐或满步距后停止;第2次调直修正,最前端支架再向前推进 $2/3$ 步距,滞后支架推进到与最前端支架并齐或满步距后停止;第3次调直修正,最前端支架再向前推进 $2/3$ 步距,滞后支架推进到与最前端支架并齐或满步距后停止。如果工作面弯曲程度较为严重,则需多次反复进行修正。

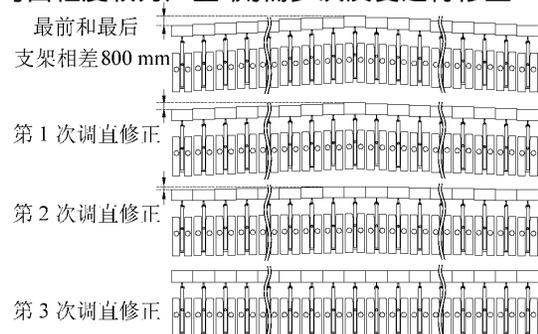


图4 工作面自动找直过程示意

Fig. 4 Automatic finding straight process in working face

### 3.6 工作面人员安全感知技术

为确保工作面跟机巡检人员的安全,设计在支架电液控制系统内增加人员定位、人员感知功能,精确定位巡视员位置,智能闭锁危险区域的设备,防止人身伤害事故<sup>[11]</sup>。其工作原理是在工作人员身上携带便携式信号发生装置,支架电液控制器内置信号接收器,当工作人员在支架附近工作时,控制器能够感知工作人员的位置,精度为 30 cm。工作面人员安全感知区域识别如图 5 所示,带式输送机区域和人行通道为危险区域(A 区域),安全区域为 B 区域。当判断巡视人员在危险区域内时,闭锁巡视人员所在支架,并停止采煤机运行、支架移架、推移刮板输送机 etc 动作。该功能可有效降低大采高工作面跟机巡检人员的事故风险,保障人身安全。同时该装置可记录工作人员对支架的所有操作记录。

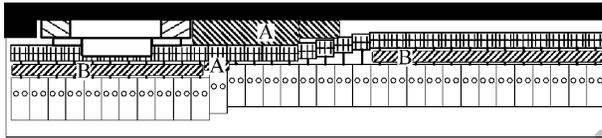


图 5 工作面人员安全感知区域识别

Fig. 5 Identification of personnel safety perception area in working face

### 3.7 工作面自动生产协调控制技术

综采工作面的生产系统主要包括采煤机、液压支架、泵站;运输系统主要包括刮板输送机、转载机、巷道带式输送机。综采生产工艺要求各个设备之间相互协同工作才能顺利完成生产过程,其设备之间具有相当强的关联关系,依据各个设备之间的关联关系,分析其负荷变化机理,并建立相应的控制策略,就可以通过对煤炭生产和运输系统的联动控制,使得设备负载平衡,生产和运输协调运行<sup>[3,6-7]</sup>。

25207 工作面采煤机配置变频电牵引装置、刮板输送机和带式输送机采用变频驱动、乳化液泵站主泵采用变频恒压供液,通过调节变频器的输出频率均能实现各设备的在线调速。工作面设备连接和制约关系如图 6 所示,设计通过对刮板输送机、带式输送机负荷的监测及设备关联关系的分析,获得设备之间的智能化控制依据,实现对综采工作面煤炭生产和运输系统的优化控制,进而达到降低事故率、高产和高效的目的。

### 3.8 EtherNet/IP “一网到底”通信技术

综采工作面成套装备系统庞大、相互关联配套运行,对动作顺序、准确性、响应速度等要求高。然

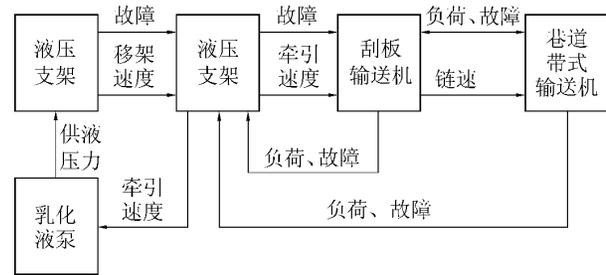


图 6 工作面设备连接和制约关系

Fig. 6 Relationship of connection and restriction for working face equipment

而,目前各设备和各系统制造商的接口方式与协议多种多样,难以形成统一通用的工作面通信协议标准,造成设备和系统采集的信息孤立于控制系统之外,无法实现闭环反馈实时控制采煤进程,无法全面了解采煤过程中岩层和装备系统的状态变化,难以实现工艺过程的快速、准确配合,提高开采效率。

随着工业控制网络技术的发展,基于工业以太网的网络控制技术得到了越来越多的现场应用,而 EtherNet/IP 作为一种基于标准以太网的应用层通信协议,融合了 EtherNet 和 TCP/IP 技术,是新一代综采自动化系统通信平台,它具有以下特点:①系统兼容性和互操作性好,能够解决综采工作面各系统间互操作的难题,可以相互传送具有明确含义的信息;②由于 EtherNet/IP 使用标准的 TCP/IP 以太网,开放性高,能够支持工作面任意设备的快速方便的接入;③大数据量、远距离传输,能够很好地支持综采工作面智能化系统,乃至整个数字化矿山的实现;④数据的高速、稳定和安全传输,能够有效地保障智能化系统的安全可靠运行<sup>[12]</sup>。

为此,25207 工作面智能化系统设计建立基于 EtherNet/IP 的“一网到底”通信体系结构,支持对远程监测、集中控制和高级自动化控制功能的实现。基于 EtherNet/IP 的智能化系统通信体系结构如图 7 所示,工作面三机语音通信控制系统、工作面供电系统和巷道带式输送机控制系统采用矿上原有系统,通过以太网转换模块将 RS485 或 CAN 通信协议转换成标准 EtherNet/IP 协议,其他采煤机控制系统、支架电液控制系统等利用 EtherNet/IP 通信标准协议,实现工作面采煤机、液压支架、带式输送机等综采设备间与供电系统、集成供液系统、环境监测系统等系统间的通信功能;同时利用 EtherNet/IP 通信协议较好的实时性、可靠性,实现综采设备的远程集中监测监控及远程技术支持服务。

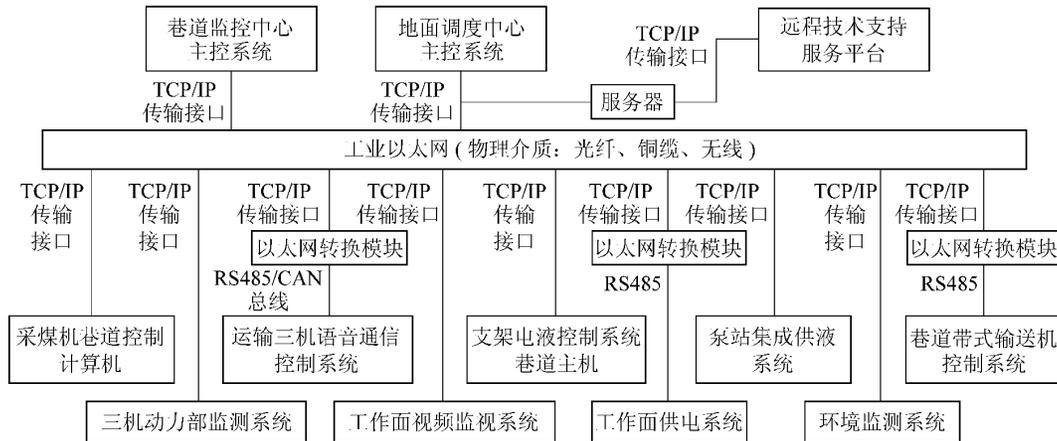


图7 基于 EtherNet/IP 的智能化系统通信体系结构

Fig. 7 Communication architecture of intelligent system based on EtherNet/IP

### 3.9 工作面环境监测联动控制技术

工作面环境的监测主要包括瓦斯、一氧化碳、粉尘、通风量、温度、湿度等信息。25207综采工作面设计在工作面以及巷道内安装环境监测传感器,以获取区域内环境监测数据,并通过井下数据交换机将环境监测结果在智能化系统平台上显示和分析,实现环境监测和生产联动。

1) 一氧化碳浓度和瓦斯浓度监测联动控制:智能化综采工作面自动化控制系统实时监测一氧化碳浓度和瓦斯浓度,并可以根据浓度值控制采煤机割煤速度。当一氧化碳浓度或瓦斯浓度达到报警值(最高允许浓度的80%)时,工作面自动化系统可以控制采煤机降低割煤速度,若超过设定时间(30s或60s)浓度仍未降低,则停止截割电机,直至停止牵引及其他运输设备运转;当浓度值低于报警值,并持续一定时间后,工作面自动化系统控制采煤机恢复正常采煤。

2) 粉尘浓度监测联动控制:工作面粉尘主要来自采煤机割煤的过程中,若生产过程中局部区域粉尘浓度超过设定值 $10\text{ mg/m}^3$ 时,工作面自动化系统可以控制喷雾降尘系统动作进行局部喷雾除尘。

### 3.10 远程技术支持平台

随着综采工作面自动化程度的不断提高,工作面子系统的种类也越来越多,且系统功能各异,复杂程度不一,技术支持工作显得日益重要。由于综采工作面自动化系统和煤矿的安全生产息息相关,常需要及时有效、快速地解决系统运行过程中遇到的问题,而通过传统方式如电话、电子邮件等已不能满足技术支持快速响应的需要。随着互联网技术的快速发展,设计通过数据库技术、搜索引擎技术、网络

技术等为煤矿用户、工程技术人员提供可视化的远程技术支持服务平台,并能为用户提供具有针对性的个性化的甚至一对一的技术支持服务,从而降低技术支持工作的强度,节约技术支持工作成本,提高技术支持工作效率<sup>[13]</sup>。

综采工作面智能化控制系统远程技术支持服务平台建立包括数据中心和云计算两大关键技术<sup>[14]</sup>。建立基于云技术的综采工作面工业云——数据中心,提供设备、环境、人员、定位等多位的实时数据库系统;依据大数据中心,通过云计算,分析设备停机故障、顶板周期来压、地质定位数据等,并能结合记忆割煤数据、人工干预数据,辅助决策调整采煤机的采高、工作面调直控制等。

## 4 大采高工作面智能化升级改造预期效果

25207大采高工作面智能化升级改造设计以支架电液控制系统、三机语音通信控制系统、泵站集成供液系统、采煤机控制子系统为基础;以支架姿态监控技术、顶板压力检测与防片帮技术、采煤机与支架防撞技术、工作面自动找直技术、工作面人员安全感知技术、工作面自动生产协调控制技术和工作面高清视频监视技术为保障;以EtherNet/IP工业以太网为通道;以大数据分析和处理为依据;以专家决策方案为指导方针;以高端集控设备为平台;以远程技术支持服务为后备。通过互联网技术的应用,最终实现工作面自动化生产、无人化操作。

25207大采高工作面智能化升级改造后,可以在巷道监控中心和地面监控中心实现对工作面设备的一键启停与监控功能,包括支架、采煤机、输送机、泵站的顺序启停控制和工作面视频监视等;工作面

采用标准以太网 EtherNet/IP 协议,可以实现系统间数据的相互交换;建立远程技术支持平台,可以实现对智能化系统的远程技术支持,提升系统支撑能力,减少停机时间。工作面智能化升级改造后,工作面操作人员将由 12~16 人减少至 3~5 人:①采煤机采用记忆割煤,支架采用跟机自动化动作,端头支架、转载机、超前支架和带式输送机自移机尾均采用远程监控;②巷道监控中心 2 人,负责工作面设备远程监控,并适时干预或调整采煤机、支架运行状况;③巡检工 1 人,巡查巡检整个工作面;④根据需要,在转载点布置 1~2 人,负责监控带式输送机的大块煤,并适时调整或干预端头支架、转载机、超前支架和带式输送机自移机尾的横向偏移。

## 5 结 语

红柳林煤矿 25207 大采高工作面智能化升级改造设计中,基于“互联网+”实现矿井自动化和信息化的深度融合,以实现大采高工作面减人提效、安全高效自动化生产的建设目标。目前,项目已完成设计并正在升级改造实施中,通过项目实施总结“互联网+大采高工作面智能化”开采经验,将有力促进数字化智能化矿井建设,并对推进全国煤矿安全生产形势稳定好转和煤炭工业可持续发展具有重要指导意义和示范引领作用。

### 参考文献(References):

- [1] 王虹桥.“互联网+”背景下煤炭工业两化深度融合的思考[J].煤炭经济研究,2015,35(10):6-11.  
Wang Hongqiao.Consideration on informatization and industrialization deep integration of coal industry under background of “internet +” [J].Coal Economic Research,2015,35(10):6-11.
- [2] 王金华.实现安全高产高效现代化煤矿的必由之路:智能化无人开采技术研发探索与实践[EB/OL].[2016-01-19].http://www.china-safety.gov.cn/newpage/Contents/Channel\_21825/2015/0603/251555/content\_251555.htm.
- [3] 王金华,黄乐亭,李首滨,等.综采工作面智能化技术与装备的发展[J].煤炭学报,2014,39(8):1418-1423.  
Wang Jinhua,Huang Leting,Li Shoubin,et al.Development of intelligent technology and equipment in fully-mechanized coal mining face [J].Journal of China Coal Society,2014,39(8):1418-1423.
- [4] 黄曾华.综采工作面自动化控制技术的应用现状与发展趋势[J].工矿自动化,2013(10):17-21.  
Huang Zenghua.Application status and development tendency of automation control technology for fully mechanized working face [J].Industry and Mine Automation,2013(10):17-21.
- [5] 葛世荣.智能化采煤装备的关键技术[J].煤炭科学技术,2014,42(9):7-11.  
Ge Shirong.Key technology of intelligent coal mining equipment [J].Coal Science and Technology,2014,42(9):7-11.
- [6] 王国法.综采自动化智能化无人化成套技术与装备发展方向[J].煤炭科学技术,2014,42(9):30-34,39.  
Wang Guofa.Development orientation of complete fully-mechanized automation,intelligent and unmanned mining technology and equipment [J].Coal Science and Technology,2014,42(9):30-34,39.
- [7] 崔树江,赵学雷,翟利斌,等.大采高综采自动化系统设计与应用[J].煤炭科学技术,2014,42(9):52-56.  
Cui Shujiang,Zhao Xuelei,Zhai Libin,et al.Design and application on automation system of fully mechanized high cutting height mining face [J].Coal Science and Technology,2014,42(9):52-56.
- [8] 张良,李首滨,黄曾华,等.煤矿综采工作面无人化开采的内涵与实现[J].煤炭科学技术,2014,42(9):26-29,51.  
Zhang Liang,Li Shoubin,Huang Zenghua,et al.Definition and realization of unmanned mining in fully-mechanized coal mining face [J].Coal Science and Technology,2014,42(9):26-29,51.
- [9] 孙继平,田子建.矿井图像监视系统与关键技术[J].煤炭科学技术,2014,42(1):65-68.  
Sun Jiping,Tian Zijian.Image Monitoring system and key technology in underground mine [J].Coal Science and Technology,2014,42(1):65-68.
- [10] 牛剑峰.无人工作面智能本安型摄像机研究[J].煤炭科学技术,2015,43(2):77-79,85.  
Niu Jianfeng.Research on intelligent intrinsically safe camera for unmanned fully-mechanized coal mining face [J].Coal Science and Technology,2015,43(2):77-79,85.
- [11] 吴德政.数字化矿山现状及发展展望[J].煤炭科学技术,2014,42(9):17-21.  
Wu Dezheng.Present status and development prospects of digitalized mine [J].Coal Science and Technology,2014,42(9):17-21.
- [12] 何广东.煤矿机电设备 EtherNet/IP 通信协议标准化研究[J].通讯世界,2015,22(11):15-17.  
He Guangdong.Research on standardization of EtherNet/IP communication protocol for coal mine electromechanical equipment [J].Telecom World,2015,22(11):15-17.
- [13] 邱鹏浩,刘嘉.煤矿应用系统远程技术支持服务平台的研究[J].工矿自动化,2011(11):13-15.  
Di Penghao,Liu Jia.Research of remote technical support service platform of coal mine application system [J].Industry and Mine Automation,2011(11):13-15.
- [14] 孙继平.“互联网+煤炭”与煤矿信息化[J].煤炭经济研究,2015,35(10):16-19.  
Sun Jiping.“Internet + coal”and coal mine informatization [J].Coal Economic Research,2015,35(10):16-19.