

8 m 大采高综采工作面智能控制系统关键技术研究

任怀伟¹, 孟祥军², 李 政², 李明忠¹

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 兖矿集团有限公司, 山东 济宁 273500)

摘 要:针对8 m 大采高工作面围岩稳定性下降、装备功率和尺寸大幅增加,将对控制的实时性、准确性和适应性提出更高要求的现状,开展超大采高工作面智能化控制技术研究。基于布置在液压支架上的压力及倾角传感器,构建液压支架支护状态在线监测系统;在采煤机记忆截割和高精度位置控制的基础上,依据修正后的采割曲线实现自动割煤;提出刮板输送机多电动机功率协同的智能驱动策略;采用三进三回环形供液及高压自动补偿技术,实现动力系统最小压力波动、最大瞬间供液的智能控制。上述技术在兖矿集团有限公司金鸡滩煤矿进行应用,结果表明:煤壁片帮、支架初撑力不足、刮板输送机压死等问题明显减少,三级护帮动作时间减少1/2,大幅提升了设备的运行质量和效率,可有效满足超大采高工作面的控制需求。

关键词:8 m 大采高; 支架状态在线监测; 多电动机协同驱动; 压力自动补偿

中图分类号:TD67

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2017)11-0037-08

Study on key technology of intelligent control system applied in 8 m large mining height fully-mechanized face

REN Huaiwei¹, MENG Xiangjun², LI Zheng², LI Mingzhong¹

(1. Department of Mining and Design, Tiandi Science and Technology Company Limited, Beijing 100013, China;

2. Yankuang Group Company Limited, Jining 273500, China)

Abstract: According to the surrounding rock stability decreased, the equipment power and dimension highly increased in the 8 m high cutting coal mining face, based on the real-time, accuracy and adaptation of the control, a more higher requirements were provided and a study was conducted on the intelligent control technology of the ultra high cutting coal mining face. Based on the pressure and inclination sensors set on the hydraulic powered support, a support status online monitoring system of the hydraulic powered support was established. Based on the memory cutting and high accurate location control of the coal shearer, an automatic coal cutting was realized with the modified mining and cutting curve. An intelligent driving strategy with the multi motor power coordination of the scraper conveyor was provided. A three supply and three returned loop hydraulic supply and the high pressure automatic compensation technology was applied to realize the intelligent control of the min pressure fluctuation of the power system and the max transient hydraulic supply. Those above technologies were applied to Jinjitan Mine of Yankuang Group Company Limited. The results showed that the coal wall spalling, insufficient setting force of the hydraulic powered support, the scraper conveyor jammed and other problems were obviously reduced, three-stage sidewall protection time was reduced by 1/2, the operation quality and efficiency of the equipment were efficiently improved and the control requirements of the ultra high cutting coal mining face could be efficiently met.

Key words: 8 m high cutting; online monitoring of powered support status; coordinated drive of multi motors; automatic pressure compensation

0 引 言

开采自动化、智能化已成为当下煤炭领域的研

究热点。袁亮院士提出的“精准开采”^[1-2]、谢和平院士提出的“科学开采”^[3-5]都将发展智能化作为核心战略,将其作为实现宏伟目标的关键技术支撑。

收稿日期:2017-09-30;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2017.11.007

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2014CB046302);国家自然科学基金资助项目(U1610251)

作者简介:任怀伟(1980—),男,河北廊坊人,研究员,博士,硕士生导师。Tel:010-84263142, E-mail: rhuaiwei@tdkcsj.com

引用格式:任怀伟,孟祥军,李 政,等. 8 m 大采高综采工作面智能控制系统关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(11): 37-44.

REN Huaiwei, MENG Xiangjun, LI Zheng, et al. Study on key technology of intelligent control system applied in 8 m large mining height fully-mechanized face[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(11): 37-44.

目前,工作面自动化开采的实现程度与地质条件、开采工艺的相关性较大。2~5 m左右的较薄及中厚煤层地质条件相对稳定、开采工艺简单,开采扰动小,因而实现自动化、智能化难度较小。国内的相关研究和实践已经在这方面取得一系列进展,例如陕煤集团黄陵一矿、兖矿集团转龙湾煤矿等都实现了液压支架自动跟机、采煤机记忆截割、地面远程集中监控、带式输送机自动张紧等功能,基本实现了“工作面无人操作,巷道有人值守”的常态化开采^[6]。随着西部晋、陕、蒙、新等煤炭基地大型矿井的建设,越来越多的工作面开始采用超大采高综采技术和装备,7 m大采高成套装备先后在陕煤红柳林、神东大柳塔、上湾等煤矿成功应用^[7-8]。由于超大采高综采围岩稳定性差、设备尺寸大、功率高、配套方式特殊,因而实现智能化的难度大幅增加。相对于薄及中厚煤层“程序化”为主的远程集中控制,超大采高工作面需要更加智能的预测预判功能、设备状态自主控制以及更加快速准确的动作控制。兖矿集团金鸡滩煤矿8 m大采高工作面是目前国内外采高最大的工作面,控制系统如何解决有效感知、自主决策及精准控制难题,满足超大采高智能化控制需求是实现工作面高效安全开采的关键问题。

为此,笔者构建了液压支架支护状态在线监测系统,提出了基于记忆截割和高精度位置控制的采煤机自动控制方法和刮板输送机多电动机功率协同的智能驱动策略,配套大流量智能供液的动力系统,实现超大采高成套装备与围岩的自适应及工作面系统协调控制。上述技术在兖矿集团金鸡滩煤矿进行试验应用,有效提升了设备的运行质量和效率,满足了8 m大采高工作面智能化控制需求。

1 8 m大采高综采智能化系统架构

1.1 8 m大采高综采智能化控制需求

8 m大采高综采相比7 m采高,对控制的实时性、准确性和适应性提出了更严格的要求。为满足成套装备控制需求,8 m大采高综采智能化系统需实现以下4个方面。

1) 液压支架姿态及受力状态的实时监测,为围岩控制提供准确依据^[9-10]。8 m大采高液压支架姿态已经无法通过人工方式观察和调节,通过监测系统采集的数据可实时、准确获取支架姿态及其力学状态,并据此分析出围岩的动态变化趋势,预判可能

发生的来压、冒顶及片帮事故,提前采取措施。

2) 装备高精度动作控制,避免控制误差导致运动干涉或记忆截割不准确。8 m大采高成套装备机身高、功率大、速度快,极易受误差影响而偏离正确位置,甚至与其他设备发生干涉,因而必须实现装备位置、动作速度、割煤高度的高精度控制,同时考虑如何消除误差影响。

3) 刮板输送机超大煤量自适应运输,防止断链、压死等事故发生。8 m大采高工作面刮板输送机瞬时运煤量大幅增加,机械冲击及电网冲击严重,需通过启动控制、速度调节保证平稳运输,减少过载及断链事故。

4) 工作面供液系统实时响应装备对流量、压力的需求,保证动作的及时性及准确性。8 m大采高成套装备瞬时供液量大,易造成系统压力波动、流量不足,从而带来支架初撑力低、移架速度慢等问题。因此,泵站动力系统需要实现工作面最小压力波动、最大瞬间供液的智能控制。

1.2 8 m大采高工作面智能化系统架构

实现8 m大采高工作面智能化控制需在现有综采工作面自动化控制系统的基础上增加智能型传感器、控制装置或升级控制程序^[11],各单机设备信息汇集到巷道监控中心的隔爆服务器上,进行分析决策与控制。整个控制系统的组成和逻辑架构如图1所示。主要包括以下4个部分。

1) 液压支架状态在线监测与控制系统:实时监测支架的空间姿态及受力,保证支架处于最佳支护状态;实现对顶板及煤壁的有效控制实现液压支架的远程控制和数据上传。

2) 采煤机高精度控制系统:在记忆截割和高精度位置控制的基础上,依据修正后的采割曲线实现自动割煤;实现与液压支架、刮板输送机的协调联动;实现采煤机工况监测、远程控制及信号采集与上传。

3) 工作面刮板运输智能控制系统:基于多参数融合全面感知刮板输送机、转载机、破碎机构成的工作面运输系统状态,提出多电动机功率协同的智能驱动策略,依据负载及工况变化自主调整机头、机尾电动机运行参数,实现智能调速,以最少的运行距离将工作面原煤及时运出,减少刮板链运行距离,降低刮板输送机磨损及功耗。

4) 工作面巷道集控中心:实现对泵站动力系统智能控制、供液系统数据采集、通信上传,超前

支架的电液控制及远程遥控,带式输送机机尾自移的电控及遥控控制等其他配套系统的全面自动

化,支撑 8 m 大采高工作面生产系统的整体智能化控制。

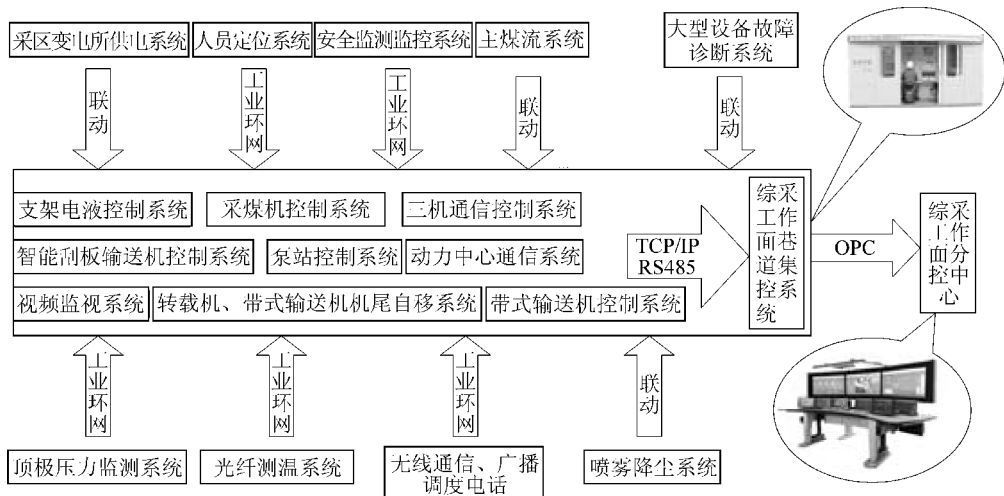


图 1 8 m 大采高综采智能化系统架构

Fig. 1 Intelligent system architecture of 8 m large height mining

2 8 m 大采高液压支架智能控制技术

液压支架电液控制系统是综采工作面的重要子系统,用于液压支架各种信息的采集和上传、动作的自动控制;可配合采煤机、刮板输送机完成自动跟机移架作业和自动成组推移刮板输送机作业,自动完成整套采煤工艺流程^[12]。8 m 大采高液压支架控制与普通支架的区别在于 2 个方面:一是需要精确感知支架姿态及受力状态,保证支护系统稳定性;二是需要实现护帮机构的自动快速打开和收回,及时支护煤壁防止片帮,以及避免采煤机相互干涉。

2.1 超大采高液压支架支护质量监测系统

8 m 大采高液压支架由普通支架的“小尺度、易自稳”变为“大尺度、易失稳”,倾斜 1°可造成顶梁 140 mm 的偏移,稳定性控制难度非常大。因而必须实时、准确获取支架的姿态和受力情况,才能及时发现可能的失稳趋势,快速调整。目前的液压支架电液控制系统虽然具有倾角传感器、压力传感器等支架状态监测装置,但这些信息都通过总线上传至巷道主机,并没有进行本地化的处理和显示,工作面中的巡检及操作人员无法直接获得设备状态;而且,这些状态信息在巷道主机中只是完成了存储和显示,也没有反馈用于对支架的控制。

为此,优化 8 m 大采高液压支架上倾角传感器、压力传感器的布置(图 2),并在每 1 台液压支架上安设 1 个基于 ARM 架构开发的支护质量监测分站与这些传感器相连。监测得到的数据在监测分站中

进行本地化的分析计算,得出当前液压支架高度、工作面的俯仰角度、左右倾斜角度、顶梁与底座的扭曲角度及支架合力作用点、大小等力学状态。上述信息实时显示在本架的监测分站上,并根据预先设定的角度值进行报警,以通知现场人员注意和及时处理。同时,这些数据也均上传至巷道集控中心,通过液压支架支护质量监测上位机软件分析支架与围岩的耦合状态(图 3),及时发现系统的失稳倾向,从而及时控制支架采取措施,保持顶板、煤壁的稳定力学状态。

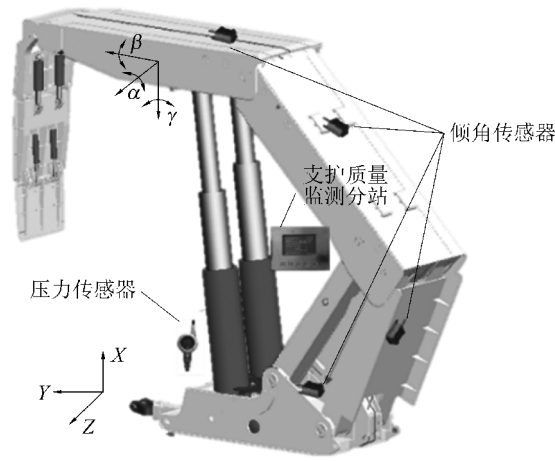


图 2 液压支架传感器布置及测量参数

Fig. 2 Configuration and measurement parameters of hydraulic support sensor

2.2 超大采高液压支架伸缩梁与三级护帮协同控制
片帮和冒顶控制是 8 m 大采高工作面生产需要

解决的核心问题。8 m 大采高液压支架采用伸缩梁和三级护帮分离的结构^[13](图 4),从而在采煤机割煤后快速支撑空顶空间和煤壁上部,并且分离结构的护帮力更大,更有利于煤壁的稳定性控制。

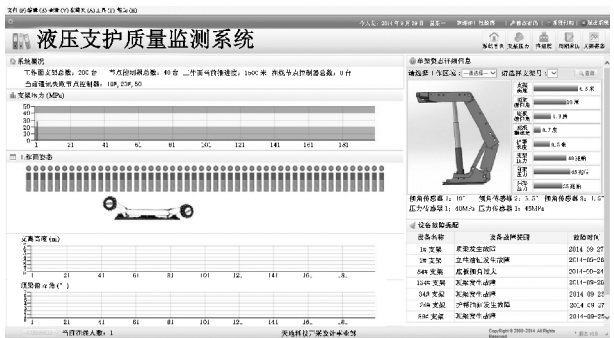


图3 液压支架支护质量监测与分析软件
Fig.3 Hydraulic support quality monitoring and analysis software



图4 超大采高液压支架伸缩梁与三级协同护帮结构
Fig.4 Structure of extensible canopy and three-stage co-movement face guard for ultra large mining height hydraulic support

8 m 大采高液压支架伸缩梁和三级护帮是各自独立控制的,采煤机割煤后立即伸出伸缩梁支撑空顶空间;采煤机前方,通过在三级护帮板上增设接近传感器,使成组收护帮板时形成逐渐打开的形状(图 5)。

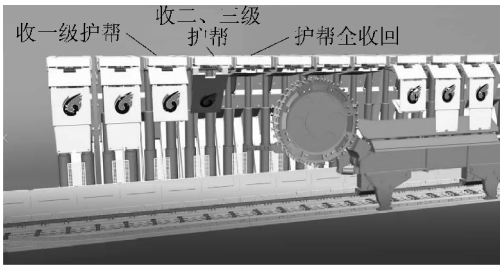


图5 三级协同护帮动作顺序控制
Fig.5 Sequence of movement control for three-stage co-movement face guard

防止在收护帮板以后有大块煤垮落砸坏立柱油缸,或卡在支架与电缆槽之间造成支架无法推移等事故;同时,还可以防止护帮板动作干涉造成设备损坏,在接近传感器出现故障的情况下,系统自动进行

护帮板动作闭锁。对于没有收回或无法收回护帮板的支架进行报警,并对采煤机实现关联闭锁,系统通知采煤机运行到该位置停止移动。在一级护帮板安装压力、行程传感器,感知护帮板对煤壁支撑效果,防止大采高工作面发生片帮事故。

3 8 m 大采高工作面采煤机高精度控制及协调联动技术

为满足装备 8 m 大采高工作面采煤机高精度动作控制的要求,避免控制误差导致运动干涉或记忆截割不准确,在采煤机机身上增加角度传感器、轴编码器、行程传感器,精确监测采煤机位置及摇臂高度。在此基础上,通过以下 3 项技术进行精确控制。

1) 修正采割曲线:采煤机记忆割煤可以适应工作面变换。通过在液压支架控制器上输入工作面高度修正值的方式获取与工作面相适应的采割曲线。采煤机在自身安全规程之内执行修正后的采割曲线,适应煤层变化情况。

2) 高精度自动控制:基于高精度、高可靠性传感器及油缸精确推移行技术,典型位置控制精度优于 $\pm 5\text{ cm}$,记忆截割典型采高重复误差 $\pm 2.5\text{ cm}$,具有线性插值、采高精度与牵引速度的自适应调节与预期控制。

3) 高速稳定通信:高可靠性的通信是采煤机有效控制的基础;设置双线 CAN、RS485 或 RJ45 多种接口,支持全功能远程操作控制及煤机运行状态的远程全面监视;从巷道到采煤机的内部指令传输延迟不大于 200 ms,延时抖动小于 1 ms。

同时,采煤机与刮板输送机负荷关联。当刮板输送机过载运行时可放慢采煤机的牵引速度,减少煤量;当刮板输送机负荷超过设定上限时,自动停止并闭锁工作面采煤机。采煤机与支架防干涉控制,通过电液控系统实时监测护帮板状态和伸缩梁的行程,依据护帮板和伸缩梁的实时状态,通过预警和报警机制,防止采煤机和支架相互干涉。

4 8 m 大采高工作面刮板输送机智能控制关键技术

8 m 大采高工作面开采对运输系统的结构、可靠性、自动控制及与采煤机、支架的匹配性都提出了更高的要求,需解决超大运量、片帮煤冲击、过载条件下链条强度及启动时冲击电网等一系列特殊难题^[14]。为此,通过构建 8 m 大采高工作面运输系统

三机集控系统、研究多电动机功率平衡及负荷调速控制技术,实现 8 m 大采高工作面自适应运输,解决上述难题。

4.1 8 m 大采高工作面运输系统三机集控系统

8 m 大采高工作面采用 SGZ1400/3×1600 重型刮板输送机,功率达到 4 800 kW,最大输送能力 6 000 t/h。工作负荷大,易发生堵塞、断链等事故,必须对刮板输送机、转载机、破碎机构成的工作面运输系统进行实时的监控,保障系统平稳、可靠运行。

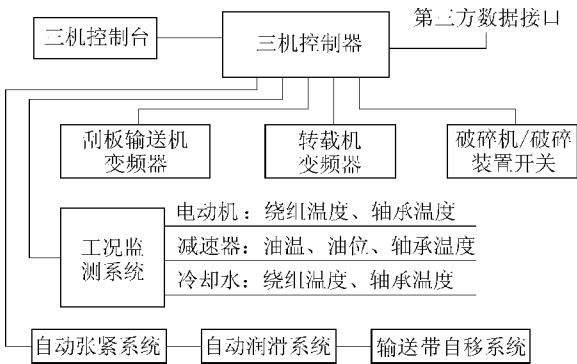


图 6 8 m 大采高工作面运输三机控制系统
Fig. 6 Transport three-machine control system for 8 m large height mining face

三机控制系统构成如图 6 所示,可对工作面破碎装置、自动伸缩机尾、输送带自移装置进行控制;对电动机、减速器、冷却水、链轮、链条等主要零部件的状态实时监测,全面感知设备运行工况;具有智能软启动、智能调速、功率平衡、自动润滑、协同工作、数据存储、故障诊断及预警等功能。三机集控系统的控制界面如图 7 所示。



图 7 运输三机控制系统界面

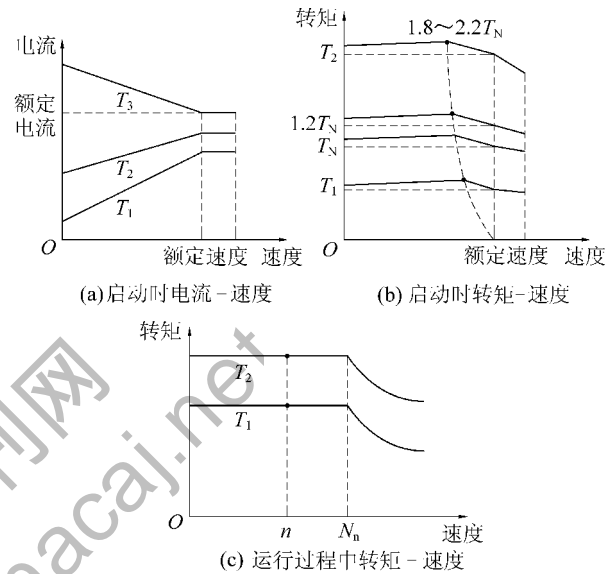
Fig. 7 Control system interface of transport three-machine

4.2 8 m 大采高工作面刮板输送机多电动机功率平衡智能驱动技术

高压变频驱动技术因其启动特性好、控制方式灵活、过载能力强,已被广泛采用。采用 2 000 kW 分体式变频器,驱动方式为“变频器外部调速控制器+(变流移动变电站+高压变频器)+单速变频调速

电动机+弹性联轴器+减速器”,实现刮板输送机的智能软启动与负荷调速控制。输送机运行过程中,平行机头为主机,垂直机头、机尾为从机,主从机之间根据工况需要实现协同控制。

依据变频器驱动时输送机的工作特征(图 8),采用主从控制、主控速度、从随速度及转矩、多电动机功率协同的智能控制策略。



T_1 、 T_2 、 T_3 —刮板输送机 3 个电动机转矩; T_N —电动机额定转矩;
 N_n —电动机额定转速; n —电动机转速

图 8 变频器驱动时输送机的工作特征
Fig. 8 Working characteristics of inverter when the conveyor is driven

1) 启动开始初期,尾部电动机先低速转动,头部电动机“感觉”到尾部电动机“企图”拉动它,随后开始转动并“追赶”尾部电动机,直至两者同速;这样使刮板输送机先张紧下链道链条,再顺序开启工作;既降低了启动冲击,又避免了松链跳齿。同时,控制系统能“记住”启动时的电动机状态参数,并自主调整启动参数。

2) 重载或带载启动时,根据中部槽堆煤量调整机头、机尾电动机启动时差、加速度、转矩变化率,实现电动机可控、平滑加载;通过 DTC(直接转矩控制)控制电动机转矩,限制直接作用于刮板链上的最大静载和动载冲击值,避免链条过度拉伸损伤。

3) 运行过程中的功率平衡:在头部电动机不过载时,控制尾部电动机转速高于头部电动机,但尾部电动机不拖动头部电动机,从而保持刮板输送机底链紧、上链松,减缓刮板输送机机尾、中部槽上沿磨损。

上述控制策略更接近输送机实际工况的需求,

主电动机控制转速,从电动机转速、转矩跟随,功率不平衡度<2%,重载启动效果好,零速转矩达到 2 倍以上,电动机效率可达 95%,功率因数可达 0.93 以上。输送机启动及运行过程中电网和机械冲击极小,机械磨损小,链条及刮板使用寿命大幅提高,故障率降低,连续生产能力大幅提高。

4.3 自主智能调速技术

生产过程中,刮板输送机并不是每一时刻都需要满负荷运行,因此应根据不同的负荷情况自动调整运行速度,从而减低运行能耗、增加设备使用寿命。依据采煤工艺,以采煤机的工作循环为研究周期,分析输送机在不同运量情况下的运行特征及数据,建立以输送机电流为主的智能调速模型,并开发输送机自主智能软件、电流采集模块、现场总线通信模块等,实现输送机主动适应、分区分档调速的自主调速功能。

1)刮板输送机在不同的输送能力下,主要归律为:电动机电流以采煤机一个割煤循环(机头-机尾-机头)为 1 个周期,时间 90~95 min;一个机头斜切进刀过程的工作电流小于额定电流的 40%,其余运行区间大部分为额定电流的 40%~60%,60%~90%的额定电流占比较小,存在极个别的瞬间过载。

2)机头斜切段运行时间大致 18 min 左右,占一个循环周期的 20%左右,具有降速运行的可能性。

3)采煤机自输送机机头向机尾正常截割运行区段约 27 min,占一个循环周期的 30%左右,刮板输送机的电流呈小幅震荡、正比增长;采煤机自输送机机尾斜切进刀至输送机机头运行区段约 45 min,占一个循环周期的 50%左右,刮板输送机的运行电流呈大幅震荡并呈总体下降趋势,不具备调速可能。

4)低速运行会降低设备的功率因数,影响电网供电质量,建议刮板输送机运行的最低速度设置为额定速度的 50%。依据刮板输送机的运行电流提供分级调速方案,具体调速方案见表 1。

表 1 刮板输送机的运行电流提供分级调速方案

Table 1 Graded speed control scheme based on running current of scraper conveyor

电流	$I < 0.4I_N$	$0.4I_N \leq I < 0.6I_N$	$0.6I_N \leq I < 0.8I_N$	$I \geq 0.8I_N$
转速	$n = 1/(2n_N)$	$n = 2/(3n_N)$	$n = 3/(4n_N)$	$n = n_N$

注: I_N 为额定电流; n_N 为额定转速。

5 8 m 大采高工作面智能供液及喷雾降尘系统

5.1 智能集成供液系统

8 m 大采高工作面采煤机割煤速度快、液压支架尺寸大,在实现快速移架、伸缩护帮板等动作时,相应部件的动作速度和幅度需要大幅提升,因而工作面动力系统必须要有足够大的流量、压力以及更快的响应速度^[15-17],为此采用以下 3 种措施。

1)系统采用三进三回环形供液方式,在巷道控制台实现对泵站的远程集中自动化控制,安装泵站油温、油位、泵站出口压力和乳化液箱液位、油位传感器,实时检测系统的输出流量、输出压力,乳化液箱的液位和温度、泵站运行状态,实现对设备的监测、预警及保护。

2)采用电控、液控 2 种卸荷方式,实现乳化液泵的空载启、停;变频和电磁卸荷智能联动,提高泵的有效利用率,降低不必要的功率损耗和磨损;实现系统压力波动的最小化、系统瞬间供液最大化;实现工作面恒压供液。

3)采用超大采高工作面高压自动补偿技术(图 9):当立柱升柱接顶后,立柱下腔压力逐渐升高,当立柱下腔压力超过高压升柱控制阀调定的动作压力值(20~25 MPa)时,高压升柱控制阀打开,由高压升柱系统向立柱下腔增压补液。采用大流量液压阀及合理规划护帮板的收放节拍,使得三级护帮的动作时间缩短了近 1/2。

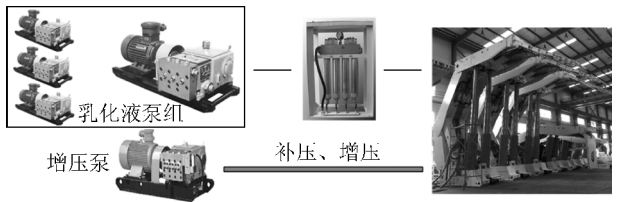


图 9 超大采高工作面高压自动补偿

Fig. 9 Automatic high voltage compensation for ultra large height mining face

5.2 智能喷雾降尘系统

8 m 大采高工作面开采割煤、运输、设备前移等动作强度增大,激起的煤尘量也大幅增加。然而,传统喷雾降尘喷头有效雾化距离最大仅达到 5 m,超出 5 m 时已不敌通风风流强度,几乎被通风风流完全带走,起不到降尘作用^[18]。因而,在 8 m 采高超大空间内,单一的采煤机内外喷雾已远不能满足需求,必须在液压支架、刮板输送机等所有可能产尘的位置布置喷雾点,同时还要根据粉尘的分布及运移

规律智能控制喷雾时间及喷雾点数量,从而达到最佳的降尘效果。

通过分析计算、优化布局,在液压支架顶梁、架间、刮板输送机挡煤板前端、转载点、破碎机等处安装喷雾点,通过智能喷雾降尘系统进行集中控制。智能喷雾降尘控制系统采用 CAN 总线结构,包括主控制器、分控制器、电磁阀及喷头等部分。主控制器通过有线网络与综采工作面集中控制系统进行通信,获取采煤机、刮板输送机、转载机和破碎机等的工作状态,通过设定的参数计算应当开启喷雾的分控制器的位置,然后向各分控制器下发开关喷雾和开关时长的指令,完成智能喷雾控制。分控制器基于 ARM 架构开发,内部集成红外接收器、RFID 无线收发器、CAN 总线控制器等模块,能够感知采煤机、人员位置,从而实时控制喷雾点的开闭;分控制器之间的相互独立,互不影响。

智能喷雾降尘控制系统具有多点同时喷雾、延时喷雾等功能,有效控制煤尘的扩散。转载机、破碎机等设备的启停由智能喷雾降尘控制系统自动开启、关闭相应的喷雾装置。

6 结 论

1)在原有工作面集中控制系统的基础上,基于布置在液压支架上的压力及倾角传感器,采用 ARM 处理器构建液压支架支护状态在线监测系统,实时监测支架的空间姿态及受力,保证支架处于最佳支护状态,实现对顶板及煤壁的有效控制。

2)在采煤机记忆截割和高精度位置控制的基础上,依据修正后的采割曲线实现自动割煤;基于多参数融合全面感知刮板输送机、转载机、破碎机构成的工作面运输系统状态,提出多电动机功率协同的智能驱动策略,依据负载及工况变化自主调整机头、机尾电动机运行参数,实现智能调速,避免过载造成设备损坏。

3)采用三进三回环形供液及高压自动补偿技术,保证液压支架供液压力,实现工作面最小压力波动、最大瞬间供液的智能控制。喷雾系统在不需要人工干预的条件下实现最佳的降尘效果,有效保障工作面作业环境。

8 m 大采高综采成套装备在兖矿集团金鸡滩煤矿进行井下应用,结果显示:煤壁片帮、支架初撑力不足、刮板输送机压死等问题明显减少,三级护帮动作时间缩短 1/2,有效提升了设备的运行质量和效

率,可有效满足超大采高工作面的控制需求。

参考文献 (References):

- [1] 袁 亮.煤炭精准开采科学构想[J].煤炭学报, 2017, 42(1): 1-7.
YUAN Liang. Scientific conception of precision coal mining[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(1): 1-7.
- [2] 袁 亮.破解深部煤炭开采重大科技难题的思考与建议[J].科技导报, 2016, 34(2): 1.
YUAN Liang. Consideration and suggestion of major scientific and technological problems for solving deep coal mining[J]. Science & Technology Review, 2016, 34(2): 1.
- [3] 谢和平, 王金华, 申宝宏, 等.煤炭开采新理念:科学开采与科学产能[J].煤炭学报, 2012, 37(7): 1069-1079.
XIE Heping, WANG Jinhua, SHEN Baohong, et al. New idea of coal mining: scientific mining and sustainable mining capacity[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(7): 1069-1079.
- [4] 谢和平, 王金华, 姜鹏飞, 等.煤炭科学开采新理念与技术变革研究[J].中国工程科学, 2015, 17(9): 36-41.
XIE Heping, WANG Jinhua, JIANG Pengfei, et al. New concepts and technology evolutions in scientific coal mining[J]. Engineering Sciences, 2015, 17(9): 36-41.
- [5] 谢和平.煤炭安全、高效、绿色开采技术与战略研究[M].北京: 科学出版社, 2014.
- [6] 范京道, 王国法, 张金虎, 等.黄陵智能化无人工作面开采系统集成设计与实践[J].煤炭工程, 2016, 48(1): 84-87.
FAN Jingdao, WANG Guofa, ZHANG Jinhu, et al. Design and practice of integrated system for intelligent unmanned working face mining system in Huangling Coal Mine [J]. Coal Engineering, 2016, 48(1): 84-87.
- [7] 任怀伟, 王国法, 李首滨, 等.7 m 大采高综采智能化工作面成套装备研制[J].煤炭科学技术, 2015, 43(11): 116-121.
REN Huaiwei, WANG Guofa, LI Shoubin, et al. Development of intelligent sets equipment for fully-mechanized 7m height mining face[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(11): 116-121.
- [8] 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.
- [9] 王国法, 庞义辉, 李明忠, 等.超大采高工作面液压支架与围岩耦合作用关系[J].煤炭学报, 2017, 42(2): 518-526.
WANG Guofa, PANG Yihui, LI Mingzhong, et al. Hydraulic support and coal wall coupling relationship in ultra large height mining face[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(2): 518-526.
- [10] 王国法, 庞义辉, 张传昌, 等.超大采高智能化综采成套技术与装备研发及适应性研究[J].煤炭工程, 2016, 48(9): 6-10.
WANG Guofa, PANG Yihui, ZHANG Chuanchang, et al. Intelligent longwall mining technology and equipment and adaptability

- in super large mining height working face[J].Coal Engineering, 2016, 48(9):6-10.
- [11] 黄乐亭,黄曾华.大采高综采智能化工作面开采关键技术研究[J].煤矿开采,2016,21(1):1-6.
- HUANG Leting, HUANG Zhenghua.Key technology of mining in intelligent fully mechanized coal mining face with large mining height[J].Coal Mining Technology,2016,21(1):1-6.
- [12] 李首滨.国产液压支架电液控制系统技术现状[J].煤炭科学技术,2011,39(1):53-54.
- LI Shoubin.Technical status of domestic electronic-hydraulic control system for hydraulic powered support[J].Coal Science and Technology,2011,39(1):53-54.
- [13] 庞义辉,王国法.基于煤壁“拉裂-滑移”力学模型的支架护帮结构分析[J].煤炭学报,2017,42(8):1941-1950.
- PANG Yihui, WANG Guofa.Hydraulic support protecting board analysis based on rib spalling "tensile cracking-sliding" mechanical model[J].Journal of China Coal Society,2017,42(8):1941-1950.
- [14] 刘海军.大采高工作面刮板输送机的研究与应用[J].煤矿机械,2016,37(12):53-54.
- LIU Haijun.Research and application of workface scraper conveyors with big cutting height[J].Coal Mine Machinery, 2016,37(12):53-54.
- [15] 田成金.工作面泵站自动控制系统的研究与实现[J].煤矿开采,2011,16(1):83-84.
- TIAN Chengjin.Esearch and realization of automatic control system of pump station for mining face[J].Coal Mining Technology, 2011,16(1):83-84.
- [16] 田成金.智能反冲洗高压过滤站的工作原理与控制模式[J].煤矿开采,2015,20(6):44-46.
- TIAN Chengjin.Working principle and control mode of intelligent backwash high pressure filter station[J].Coal Mining Technology, 2015,20(6):44-46.
- [17] 向虎.SAP型综采工作面智能集成供液系统的研制与应用[J].煤矿机械,2013,34(4):177-178.
- XIANG Hu.Research and application of sap coal face intelligent integrated hydraulic-supplying system[J].Coal Mine Machinery, 2013,34(4):177-178.
- [18] 梁怡芳,张昌建,梁界武.综采面综合降尘技术研究及其应用[J].煤炭工程,2012,12(1):50-52.
- LIANG Yifang, ZHANG Changjian, LIANG Jiewu.Research and application of synthetic precipitation technology in comprehensive mining face[J].Coal Engineering,2012,12(1):50-52.
- JIANG Jing.Application of heavy fully mechanized face in shandong mining area[J].Coal Science and Technology,2008,27(1):42-43.
- [17] 高进,贺海涛.厚煤层综采一次采全高技术在神东矿区的应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1888-1892.
- GAO Jin, HE Haitao.Application of fully mechanized full seam one passing mining technology to thick seam in Shendong Mining Area[J].Journal of China Coal Society,2010,35(11):1888-1892.
- [18] 李智斐.大采高综采面支架围岩关系的数值模拟研究[J].煤炭科技,2012(1):8-10.
- LI Zhifei.Numerical simulation study on the relationship between support and surrounding rock of fully mechanized mining face with large mining height[J].Coal Science & Technology Magazine,2012(1):8-10.
- [19] 王学军.厚煤层大采高全厚开采工艺研究与应用[J].采矿与安全工程学报,2009,26(2):212-216.
- WANG Xuejun. Research on large mining height technique for thick coal seams[J].Journal of Mining & Safety Engineering, 2009,26(2):212-216.

(上接第26页)