

机电与自动化

综采液压支架跟机自动化智能化控制系统研究

牛剑峰

(北京天地玛珂电液控制系统有限公司 北京 100013)

摘要: 针对综采工作面液压支架跟机自动化控制程序、参数的静态特性以及单一化,而不能很好地满足动态跟机自动化系统需求的问题,根据工作面多变的环境、设备、工艺等动态特性,从多因子、多维度设计了跟机自动化智能化控制系统,介绍了液压支架跟机自动化控制原理,分析了影响液压支架移架速度的多种因素,介绍了跟机控制与供液系统、设备工况、顶底板条件、采煤机速度、采煤工艺耦合控制策略、跟机控制联动能力平衡控制策略、跟机全局控制与补架等控制策略。跟机自动化智能化控制系统在黄陵一矿进行试验,结果表明,该系统的应用提高了液压支架跟机自动化智能化控制系统的智能化水平,增强了跟机自动化功能的自适应性,为无人化工作面的推广应用起到促进作用。

关键词: 综采工作面; 液压支架; 电液控制; 跟机自动化; 智能化控制; 无人化工作面

中图分类号: TD67 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2015)12-0085-07

Study on automatic and intelligent following control system of hydraulic powered support in fully-mechanized coal mining face

Niu Jianfeng

(Beijing Tiandi-Marco Electronic-Hydraulic Control System Company Ltd. Beijing 100013 China)

Abstract: According to the automation following control program, parameter static features and singleness of the hydraulic powered supports in the fully mechanized coal mining face and to the problems of the dynamic automation following system not be well solved, based on the varied environment, equipment, technique and dynamic features of the coal mining face and the automation and intelligent following control system was designed from the multi-factor and multi dimensions. The paper introduced the automation following control principle of the powered support, analyzed the several factors affected to the moving speed of the powered support and introduced the following control and hydraulic supply system, equipment performances, roof and floor conditions, speed of the coal shearer, coal mining technique coupling control strategies, balanced control strategies of the following control link capacity, overall following control and additional powered support added and other control strategy. The automation and intelligent following control system was tested in Huangling No. 1 Mine. The results showed that the application of system could improve the intelligent level of automation and intelligent following control system of hydraulic powered support and enhance the suitability of automation following function in order to provide promotion role to the promotion and application of the unmanned coal mining face.

Key words: fully mechanized coal mining face; hydraulic powered support; electro hydraulic control; automation following; intelligent control; unmanned coal mining face

0 引言

在我国综采工作面液压支架电液控制系统已经

得到了普遍推广与应用,电液控制系统的应用替代了人工手动操作,通过液压支架的电液程序控制,实现了单个支架的单动作控制、成组支架动作的顺序程序控制和液压支架跟随采煤机位置的自动控制

收稿日期: 2015-07-02; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.12.018

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2013AA06A410); 北京市科技计划资助项目(Z141100003514025)

作者简介: 牛剑峰(1961—),男,山西太原人,高级工程师。Tel: 010-84263000-3251, E-mail: njf@tdmarco.com

引用格式: 牛剑峰. 综采液压支架跟机自动化智能化控制系统研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(12): 85-91.

Niu Jianfeng. Study on automatic and intelligent following control system of hydraulic powered support in fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 85-91.

(亦称跟机控制)等功能^[1],液压支架电液控制系统优良高效的控制功能得到了广大煤矿用户的好评,特别是跟机自动化控制功能的应用,降低了煤矿工人的劳动强度,提高了煤矿生产效率^[2]。但是目前我国液压支架跟机自动化控制的应用普遍未达到理想的应用效果,跟机自动化功能仅在条件较好的煤矿阶段性地进行示范操作,不能作为主流生产模式长期运行,只有少数矿区在持续使用,主要问题是支架跟机自动化程序、流程及参数的静态化与单一化,不能适应多变的工作面环境、设备和配套供液系统的要求,不能满足采煤机高速割煤、液压支架快速推移的要求。研究综采工作面跟机自动化、智能化方法,提高跟机自动化的适用性能,全面实施综采工作面跟机自动化,是我国煤矿综采工作面自动化、智能化急需解决的问题,是综采工作面无人化必备的条件。

1 液压支架跟机控制原理

液压支架自动化控制是依据采煤机位置,按照采煤工艺,在采煤机的前方收回煤壁支护的支架护帮板,方便采煤机割煤,在采煤机割煤后应及时伸出伸缩梁进行顶板支护,在采煤机后方应及时移架,实现对割煤后的悬空顶板及煤壁的支护,在完成移架后的支架,进行推移刮板输送机控制,将落下的煤块装载到刮板输送机上,同时为下一刀割煤做好准备工作,整个跟机自动化程序可以将操作人员在不同部位的操作动作形成标准化流程,编入程序进行支架的自动控制,同时依据接近传感器进行护帮板动作执行情况的跟踪,依据压力传感器控制支架降、升动作,依据行程传感器控制支架推、移动作等。液压支架跟机自动化控制的目的是实现工作面采煤设备的自动迁移,并保证采煤机与液压支架互不干涉,刮板输送机保持良好的运行姿态,并保证其直线度,对工作面顶板、煤壁进行有效管理,保证支护强度达到设定的初撑力。

2 跟机控制存在的问题

综采工作面液压支架跟机自动化动作包括跟机护帮板动作、跟机移架和跟机推移刮板输送机,以及跟机喷雾等,其中动作流程最复杂,问题最多的是跟机移架控制,主要原因是由于工作面的液压支架是由刮板输送机通过销耳进行连接的,其构成具有一个维度约束的离散浮动系统,跟机移架过程控制受

设备、地质条件等多种因素的影响。跟机移架是由降、移、升等多个动作顺序按照预先设定程序自动完成的,液压支架主要的降升、推移动作是由传感器和时间双参数冗余控制的,液压支架的动作采取传感器值优先控制策略,当传感器值达到设定的阈值时,自动结束该过程,时间参数为动作保护值,在传感器失效时,传感器检测值不能达到设定的阈值,当动作延时到达规定时间时也要结束该动作。液压支架的顶梁、平衡等动作可采用角度传感器进行控制,液压支架的侧护板依赖单一的时间参数来控制。

综采工作面由多台液压支架顺序摆放而成,由液压阀驱动液压油缸实现液压支架的动作,而液压支架的油缸会因密封圈摩擦损坏造成油缸漏液,使得支架动作缓慢。随着生产维护中更换管路、接头、液压阀而带入到系统中的污物会使过滤系统堵塞、液压阀串液,造成液压支架动作缓慢^[3]。因此,随着系统的持续运行,液压支架的动作速度会逐渐变慢,每台液压支架液压阀的工作状态都会略有差异,运行时间越长,这种差异性越大。虽然,液压支架的运行参数,包括传感器阈值和时间参数^[4],可以在运行过程中调整,但都是相对固定的,是静态的,无法采用单一固定参数来适应不断变化各有差异的液压支架单机系统,并达到统一的效果。在工作面中部和端头顶板压力都有所不同,并且随着工作面的推进也不断发生变化,采用相对固定静态的时间参数也无法满足液压支架动作自动控制的程序要求。在工作面有1台支架动作和多台支架动作时,工作面液压支架所需的用液流量和压力不同,对液压支架的动作速度会有很大影响,支架动作数量越多,在不增加泵站系统能力的前提下,支架的动作速度就会越慢,而在采煤机速度达到5 m/min以上时,需要至少2台液压支架同时移架,才能达到采煤机追机作业的要求,在泵站供液不足时,就会出现液压支架动作速度缓慢,跟不上采煤机,出现空顶、“丢架子”等问题。因此,液压支架的跟机自动化控制过程是多种因素影响的复杂过程,现有单一的固化流程与静态参数难以适应多变的工作面顶底板条件、设备运行状态和配套设备工作。

3 跟机自动化智能化控制系统设计

综采工作面跟机自动化智能化控制系统应具有自学能力,程序应能对液压支架跟机动作流程、参数、环境的位置特征所固有的信息进行学习^[5],建

立控制模型,并将所得到的经验对控制模型进行优化与应用,在实践过程中再进一步估算、分类、决策和控制,改善跟机控制的性能。

3.1 总体方案设计

对于工作面不同的地质赋存条件,综采工作面跟机自动化智能化系统可以通过运行过程中液压支架感知元件感知支架运行状态,对人工操作信息归类、分析,不断优化并修正跟机动作流程、工艺节拍和动作参数,使其达到最佳的运行状态,实现跟机自动化智能化控制系统的人工智能化。

跟机自动化智能化控制系统应根据现场设备工况和工作面环境条件,自动协调设备与设备之间,设备与环境之间的关系,采用最优的方法解决各种因素对跟机控制的影响,跟机智能控制影响因素分析如图1所示。

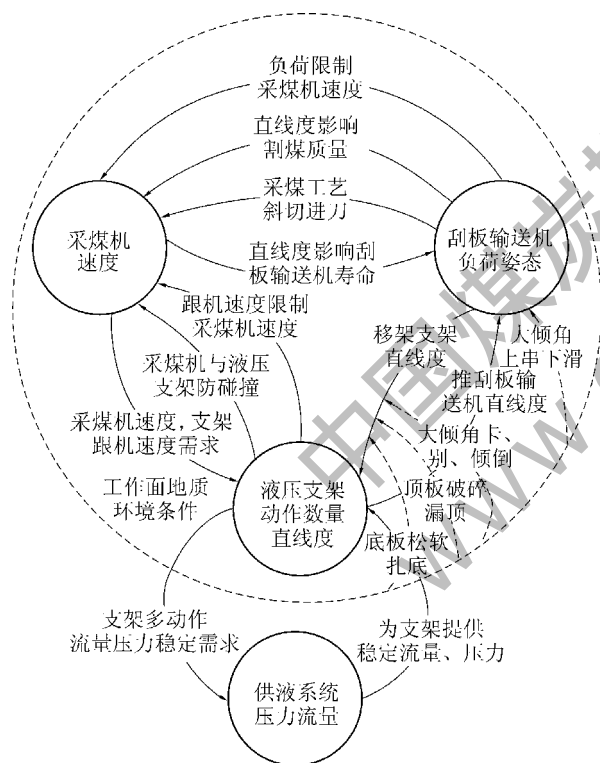


图1 跟机智能控制影响因素分析

Fig.1 Machinery-tracked intelligent automation control system influencing factors analysis

跟机自动化智能化控制系统应具有组织综合能力,在对不断变化的环境(顶底板条件、工作面倾角与仰俯采支架的姿态)、设备条件(液压支架及其液压阀的工况)、配套设备(泵站系统压力、流量)和采煤机运行速度等信息进行综合分析,对控制参数进行估算、尝试与控制,在控制过程中不断自我学习,

自我完善、自我修正控制过程与控制参数;跟机自动化智能化控制系统应具有适应能力和优化能力,根据生产过程的各种场景,以及工作面顶板条件的变化情况,自动调整液压支架动作数量、动作控制参数和开启泵站的数量,通过插补、归类、自行修复等方法提高程序的适应能力;跟机自动化智能化控制系统应具有故障诊断能力,在故障模式下能够自我修正,并对配套设备产生的问题进行故障报警,以便人工及时维护,提高设备运行效率,同时能够在设备状态处于不利的情况下,仍然能够持续作业,并达到系统要求的标准,跟机自动化智能化控制系统流程如图2所示。

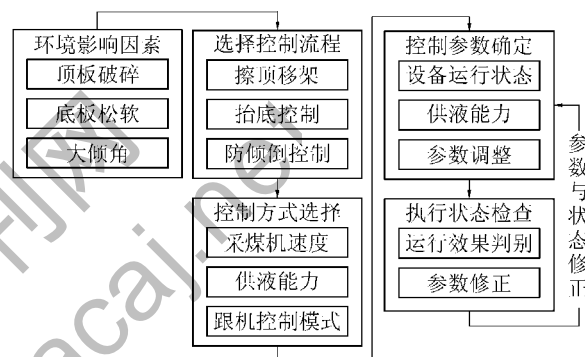


图2 跟机自动化智能化控制系统流程

Fig.2 Machinery-tracked intelligent automation control system flow

采用在工作面配置服务器或在监控中心配置工业计算机,作为跟机自动化智能化控制系统核心控制单元,对跟机自动化智能化控制系统资源进行整体规划,全局协调与调度,对未达到应用效果的支架进行辨识,并发出指令进行支架动作补遗,为跟机动作提供二次机会,可以有效防止移架不到位,避免出现“丢架子”等问题,进而提高跟机的可靠度。对跟机过程中影响支架动作的各种因素进行在线特征辨识、特征记忆,并用拟人的方法进行智能分析与处理,同时给出控制决策,通过不断优化参数和寻找控制过程最佳结构形式,以获得跟机自动化最优的控制性能。

3.2 跟机控制与供液系统耦合控制策略

泵站供液系统能力应与采煤机运行速度及其液压支架的跟机速度相匹配,当采煤机速度不断加大时,液压支架按照原有的单架逐次顺序移架不能满足追机功能要求,必须多架同时移架。加粗液压管路,减少流量损伤,提高泵站压力,采用泵站多级并联环形供液方式可增加总供液流量,大幅降低回路阻力,加快液压支架的动作速度^[6-9]。

3.3 跟机控制与设备工况耦合控制策略

随着工作面设备的持续运转,工作面过滤器件出现堵塞,电液换向阀出现串液^[10],电磁阀出现别卡^[11],使得液压油缸动作速度逐渐变得缓慢,原有跟机控制时间参数逐渐变得不适应,而以上问题可能在任意时刻发生在工作面的任意支架上,这样就使得跟机动作质量无法得到有效控制。因此,需要对跟机动作过程中的数据进行存储、分析,观察其变化趋势,当单位时间内油缸的动作量或传感器变化量延迟超过设定的阈值时,适时开启液压支架的自动反冲洗功能,疏通过滤系统^[12],在其效果没有明显改善时,一方面要进行故障报警,提示维修人员及时排除系统故障,另一方面,可以通过对支架动作过程中的压力、行程等传感器数据的时间序列分析估算出其调整量^[13],并对完全依赖时间控制的动作按照等比例调整其时间参数,从而实现动作控制参数随着工作面液压支架运行状态进行动态调整,实现参数与设备的最佳匹配,以达到预期的动作效果。

3.4 跟机控制联动能力平衡控制策略

综采工作面支架液压系统是并联系统,系统压力由同时动作的、压力最低的 1 台支架的载荷决定,因此,同时执行跟机动作的各支架的动作是相互影响的。在跟机动作过程中,还应根据油缸动作用液量需求进行跟机动作及其参数的匹配,液压支架不同动作用液量不同,对系统压力的波动影响程度也不同,降柱过程受同时工作的支架影响较大,应设法降低立柱回液压力损失,以提高降柱速度^[14],单架动作与多架同时动作的用液需求量也不同,可以在工作面主管路上增设压力传感器和流量传感器,通过实时监测液压支架动作时液压系统运行参数,来确定液压支架动作的时间参数,以确保达到良好的运行效果。

3.5 跟机控制与顶底板条件耦合控制策略

对于顶板破碎的工作面,应采用擦顶待压移架方式^[15]实现跟机移架,防止顶板冒顶;对于底板松软的工作面,应在移架过程中执行抬底动作,防止液压支架出现扎底现象;对于大采高、矿压大的工作面,支架降柱动作缓慢,支架泄压时间较长,并且工作面中部和端头差异较大,单一的控制参数无法适应全工作面不断变化的顶板条件,通过压力传感器感知顶板泄压状况,行程传感器感知支架是否能够拉动,必要时通过多次降柱泄压,以达到支架跟机移架时间最短的运行效果,支架移架过程中压力和行

程变化过程如图 3 所示。对于大倾角工作面 and 进行仰俯采时,需要通过倾角传感器进行液压支架的姿态检测,并通过平衡、调底、调斜和侧护板等液压支架的调整构件对运动中的液压支架进行姿态控制。对于复杂构造的矿井,需要及时智能地调整控制策略,才能适应不断变化的工作面地质条件,提高跟机智能化系统对不同工作面环境条件的适应能力。

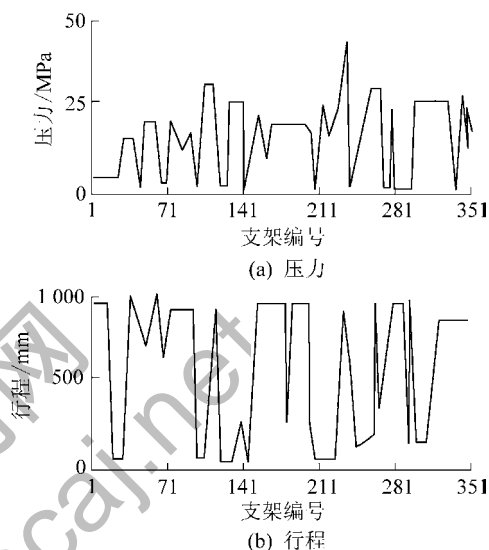


图 3 跟机移架压力和行程参数变化

Fig. 3 Machinery-tracked removing support pressure, stroke parameter analysis

3.6 跟机控制与采煤机速度耦合控制策略

工作面影响跟机动作的主要因素是跟机移架,按照《煤矿安全规程》要求,应及时护顶护帮,一般在采煤机机身 3~5 架开始移架^[16],在采煤机割煤后,工作面空顶距离不能超过 5 架,即当采煤机机身后有连续 5 架未移架时,就应停止采煤机继续割煤,等待完成支架移架后采煤机再继续前行割煤。一般情况下,采煤机速度不超过 5 m/min 时,支架可以按照顺序跟机移架方式实现全工作面跟机控制,工作面跟机效果较好,不会出现丢架、移架不到位等问题。按照液压支架的宽度为 1.5 m 计算,当液压采煤机速度为 5 m/min 时,支架的平均移架速度为采煤机每秒钟行走的距离与支架宽度之比。当采煤机速度达到 8 m/min 以上时,支架的平均移架速度大约需要 11.25 s/架,当采煤机速度达到 15 m/min 以上时,支架的平均移架速度约需要达到 6 s/架,支架跟机顺序移架方式已经无法满足支架追机要求,可以通过分段跟机移架或多架插架移架等方式^[17],采用多架同时移架才能实现该目标^[18],可以采用 1、3、5 架同时移架,再触发 2、4、6 架同时移架^[19],支

架的移架速度为 18 s/架,可以等同于采煤机速度为 5 m/min 的顺序移架速度,但同时应保证泵站有足够的供液能力,保证其在多架同时移架时,达到相应的移架速度。因此,当采煤机速度达到一定限度时,需要改变支架跟机移架方式,比如可以先完成 1、3、5 号支架同时移架,再完成 2、4、6 号支架同时移架,这样一次移架控制可以将支护范围扩展到 5 架约 7.5 m 的范围。2 次移架完成工作面 6 架 9 m 范围的顶板支护,如采用 1、4、7;2、5、8;3、6、9 移架方式,则一次移架控制可以完成工作面 10.5 m 的范围支护,3 次移架完成工作面 9 架 13.5 m 范围的顶板支护,大幅提升了移架速度。

通过对采煤机速度检测,实现跟机智能移架方式的自动切换,以满足工作面追机护顶护帮的需要。但在多个支架同时移架时,由于移动的支架左右相邻支架都没有完成移架功能,使移动的支架自由度增大,在移架过程中左右摇摆,造成支架层次不齐,移架工程质量较差,达不到煤矿生产标准化的要求。因此,采用提高供液系统能力和智能移架控制方法相结合,在尽可能提高供液系统能力的前提下,采用单架与多架同时移架智能切换方式完成跟机控制与采煤机速度的耦合控制,以达到满足工作面生产能力需求。

3.7 跟机控制与采煤工艺耦合控制策略

需要根据工作面特点,配置相适宜的采煤工艺,并尽量使其标准化,实现双向割煤、单向割煤和三角煤标准化工艺^[20]。支架跟机自动控制三角煤割煤工艺流程如图 4 所示。在采煤机向下(上)割透端头煤壁后,自上(下)而下(上)推移刮板输送机,使得刮板输送机形成弯曲段,将采煤机前后滚筒上下位置调换,向上(下)进刀,如图 4a 所示;采煤机通过弯曲段后,采煤机达到正常截割深度,完成斜切进刀,如图 4b 所示;而后将刮板输送机推至平直,将采煤机前后滚筒上下位置调换,向下(上)割三角煤至割透端头煤壁,完成回刀控制,如图 4c 所示;将采煤机前后滚筒上下位置调换,采煤机返刀割煤,如图 4d 所示。

采用在割煤程序流程中设置关键点方式,可以有效解决三角煤区域需要破煤、扫底、清浮煤等采煤机在工作区不确定的往返运动时,支架跟机动作流程相对固化的问题,如图 5 所示为在采煤机行走轨迹上设置关键点,将跟机过程划分成不同阶段进行处理,跟机自动化智能化控制系统应确保行程传感器的准确度,才能保证三角煤跟机自动化的实施效果。

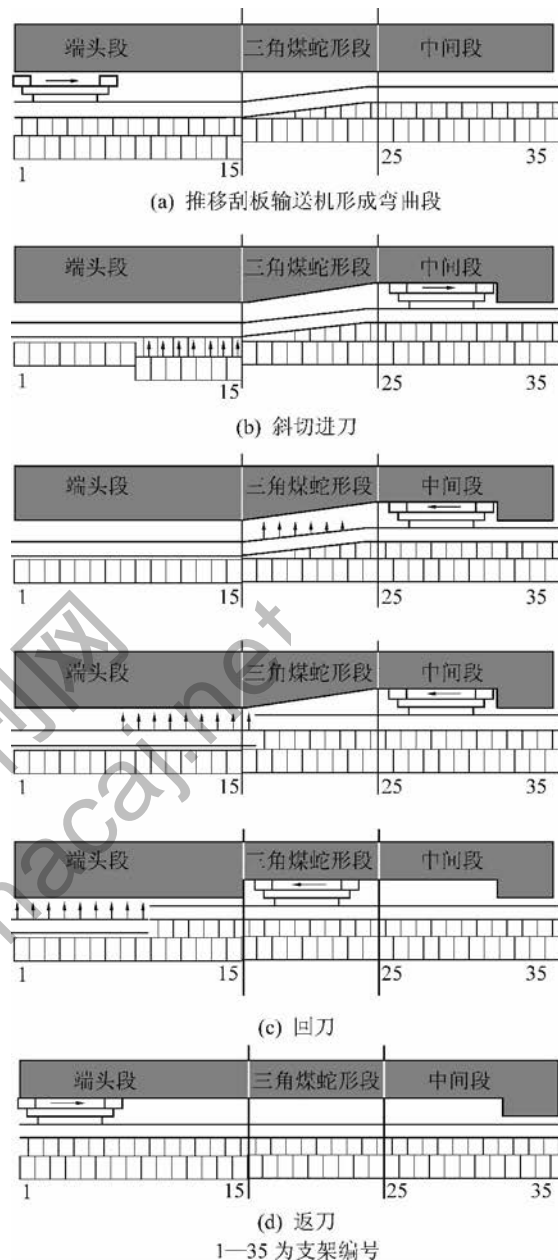


图4 支架跟机自动控制工艺流程

Fig. 4 Hydraulic support machinery-tracked automatic control technology process flow

3.8 跟机全局控制与补架控制策略

由于工作面的液压支架跟机动作均由每台支架上配置的支架控制器来完成,缺乏整体的协调与协作,没有对跟机运行效果的全局管理,因此,需要在工作面的服务器上(或在监控中心,或在地面调度室)对工作面跟机自动化过程进行监控,依据泵站供液系统的压力、流量等参数,以及工作面主管道压力,测算支架各种动作需求的流量总和,并对工作面跟机动作进行实时调度与实时监测,对于没有达到既定跟机运行效果的,由服务器发出指令再次执行

支架跟机动作,为支架完成跟机动作提供多次机会,提高跟机质量,保证跟机效果。

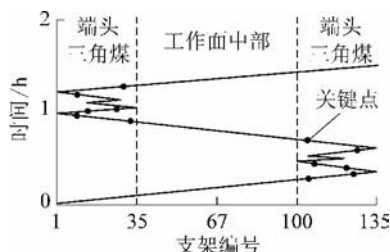


图 5 跟机全过程中设置关键点

Fig. 5 Setting key points diagram in whole process of machinery-tracked

4 跟机自动化智能化控制系统应用

跟机自动化智能化控制系统已经在黄陵一矿进行试验,并取得了较好的成绩。该系统具有跟机移架、跟机推移刮板输送机和跟机喷雾等功能,依据采煤机速度可以自动切换顺序跟机移架和浮动的分组跟机移架,当采煤机速度小于 5 m/min 时执行顺序跟机移架,采煤机速度提升到 8 m/min 以上时 3~4 个支架同时跟机移架。根据工作面主供液管路上的压力和支架跟机动作状态变化,适时调整跟机动作控制参数,当动作参数调整量超过规定的阈值时,进行故障报警,方便维修人员及时排除液压系统故障。2014 年 3 月 25 日在工作面实时采集的泵站压力、采煤机速度和跟机支架动作数量过程关系曲线如图 6 所示。

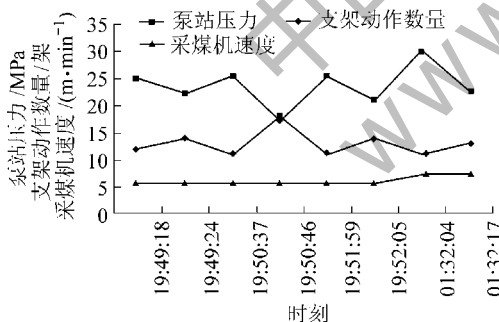


图 6 泵站压力、采煤机速度、支架动作数量关系曲线

Fig. 6 Relationship of pump station pressure, coal mining machine speed and hydraulic support action number relation

由此可以看到在给定采煤机速度的情况下,支架动作数量越多,泵站压力跌落越大,跟机动作完成的时间也就越长,当泵站压力增加时,支架动作速度加快,液压支架追机能力得到提升。

5 结 语

综采工作面跟机自动化控制因其是由多个离散

的液压支架分别完成,它受环境、设备、采煤工艺和控制方式等多种因素的影响,需要进行感知、记忆、分析与智能控制^[21],使跟机自动化程序能够与设备、环境相耦合,最大限度地适应不断变化的工作面条件、设备、工艺,提高液压支架跟机的智能化水平和自适应能力,改善跟机质量,并达到最佳的运行效果。该系统的研究开发,将提高跟机自动化程序的智能化水平,促进工作面无人化技术的发展。

参考文献:

- [1] 朱金雨,李国莲. 液压支架跟机自动化系统设计[J]. 工矿自动化, 2013, 39(12): 1-4.
Zhu Jinyu, Li Guolian. Design of machinery-tracked automatic system of hydraulic support[J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(12): 1-4.
- [2] 管俊才,柳军涛,李晓林. 新元公司 3205 综采工作面自动化系统的研究与应用[J]. 煤矿现代, 2014(3): 117-119.
Guan Juncai, Liu Juntao, Li Xiaolin. Research and application of No. 3205 fully mechanized mining face automation system in Xinyuan Company[J]. Coal Mine Modernization, 2014(3): 117-119.
- [3] 瞿春安. 液压支架常见故障分析与排除[J]. 煤炭技术, 2008, 27(10): 1-2.
Qu Chun'an. Analysis and troubleshooting of hydraulic support[J]. Coal Technology, 2008, 27(10): 1-2.
- [4] 邱洁元. 基于双 CAN 总线的液压支架电液控制系统设计[D]. 南昌: 南昌大学, 2009: 1-61.
Qiu Jieyuan. Design of electro-hydraulic control system based on double CAN-Bus used in power support[D]. Nanchang: Nanchang University, 2009: 1-61.
- [5] 牛剑峰,刘清. 一种液压支架程序控制方法: 中国, ZL201410008643.0[P]. 2014-01-09.
- [6] 李晓豁,段鹏文,周桂英. 影响液压支架移架速度的因素分析[J]. 阜新矿业学院学报, 1994, 13(10): 69-72.
Li Xiaohuo, Duan Pengwen, Zhou Guiying. Analysis of factors influencing advancing speed of hydraulic support[J]. Journal of Fuxin Mining Institute, 1994, 13(10): 69-72.
- [7] 韩伟,王国法,李政. 等. 液压支架移架速度的量化研究[J]. 煤炭学报, 2003, 28(4): 219-224.
Han Wei, Wang Guofa, Li Zheng, et al. Quantitative study on the hydraulic support advancing speed[J]. Journal of Coal Society, 2003, 28(4): 219-224.
- [8] 刘宝龙. 液压支架推移装置参数优化与移架速度研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2010: 1-71.
Liu Baolong. Research on advancing and parameter optimization of passage device of hydraulic support[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2010: 1-71.
- [9] 曹小荣,赵书明. 液压支架快速移架系统的研究[J]. 煤矿机械, 2010, 31(2): 131-132.

- Cao Xiaorong Zhao Shuming. Research of hydraulically powered support fast moving[J]. Coal Machinery 2010 31(2): 131-132.
- [10] 何彦海, 李海明, 闫文泉, 等. 液压支架可靠性和快速移动的技术途径[J]. 煤矿机械 2001 22(12): 45-47.
He Yanhai, Li Haiming, Yan Wenquan, et al. The reliability of hydraulic support and fast moving technology[J]. Coal Mine Machinery 2001 22(12): 45-47.
- [11] 马 鑫. 液压支架电液控制煤机定位与电磁阀缓变失效预测研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学 2009: 1-116.
- [12] 黄艳杰, 马 岩. 液压支架电液控制系统的使用与维护[J]. 煤矿机电 2011(1): 102-103.
Huang Yanjie, Ma Yan. Use and maintenance of the hydraulic support electro-hydraulic control system[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology 2011(1): 102-103.
- [13] 张 申, 黄 欢, 崔彦容, 等. 液压支架工作状态模糊识别系统研究[J]. 工矿自动化 2012 38(6): 52-55.
Zhang Shen, Huang Huan, Cui Yanrong, et al. Research of fuzzy recognition system of working state of hydraulic support[J]. Industry and Mine Automation 2012 38(6): 52-55.
- [14] 阎景惠, 李晓豁, 李俊海, 等. 支架液压系统工作方式的研究[J]. 煤矿机电 1993(2): 22-25.
Yan Jinghui, Li Xiaohuo, Li Junhai, et al. The research hydraulic support work way of hydraulic system[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology 1993(2): 22-25.
- [15] 薛瑞峰. 液压支架快速移架浅谈[J]. 同煤科技 2007 2(6): 8-9.
Xue Ruifeng. Talking about the fast moving hydraulic support[J]. Science and Technology of Datong Coal Mining Administration 2007 2(6): 8-9.
- [16] 田成金, 魏文艳, 朱小林. 基于 SAC 型液压支架电液控制系统的跟机自动化技术研究[J]. 煤矿开采 2012 17(2): 47-50.
Tian Chengjin, Wei Wenyan, Zhu Xiaolin. Automatic following coal-cutter technology of based on SAC electrohydraulic control system in powered support[J]. Coal Mining Technology 2012 17(2): 47-50.
- [17] 李冬至. 综采工作面快速移架方式[J]. 中国新技术新产品, 2010(10): 134.
Li Dongzhi. Hydraulic support on the fully mechanized mining face fast moving way[J]. New products, New Technology of China 2010(10): 134.
- [18] 朱小林, 李首滨. 采煤机速度对综采工作面跟机自动化影响研究[J]. 煤炭工程 2008(2): 79-81.
Zhu Xiaolin, Li Shoubin. Research on coal shearer speed affected to automation of fully mechanized longwall mining face[J]. Coal Engineering 2008(2): 79-81.
- [19] 贺海涛. 综采工作面自动化在神东矿区的实践[J]. 陕西煤炭 2009(2): 51-52.
He Haitao. Practice of automation of fully mechanized mining face in Shendong Mining Area[J]. Shaanxi Coal 2009(2): 51-52.
- [20] 陶 显, 林福严, 张晓青, 等. 液压支架电液控制系统跟机自动化技术研究[J]. 煤炭科学技术 2012 40(12): 84-87.
Tao Xian, Lin Fuyan, Zhang Xiaoqing, et al. Study on automatic following technology of electric and hydraulic control system applied in hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology 2012 40(12): 84-87.
- [21] 牛剑峰, 李首滨, 刘 清, 等. 一种综采工作面带记忆功能的液压支架自动控制系统: 中国, ZL201210349389.1[P]. 2012-09-20.
- ~~~~~
- (上接第 74 页)
- Chang Ming. Experimental study on directional hydraulic fracturing of hard roof processing technology[J]. Modern Property 2012(8): 21-23.
- [2] 黄炳香, 邓广哲, 刘长友, 等. 煤岩体水力致裂弱化技术及其进展[J]. 中国工程科学 2007 9(4): 83-88.
Huang Bingxiang, Deng Guangzhe, Liu Changyou, et al. Hydraulic fracturing technology of coal rock mass and its development[J]. China Engineering Science 2007 9(4): 83-88.
- [3] 邓广哲. 煤体致裂软化理论与应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社 2003.
- [4] 杨俊彩. 神东矿区综采面端头三角区悬顶治理实践[J]. 陕西煤炭 2014(1): 98-99.
Yang Juncai. In Shendong mining area of fully mechanized mining face end triangle hanging roof[J]. Shaanxi Coal 2014(1): 98-99.
- [5] 春 兰, 何 晓, 向 斌, 等. 水力压裂技术现状及其进展[J]. 天然气技术 2009 3(1): 11-13.
Chun Lan, He Xiao, Xiang Bin, et al. Current situation of hydraulic fracturing technology and progress[J]. Natural Gas Technology, 2009 3(1): 11-13.
- [6] 孙守山, 宁 宇, 葛 钧. 波兰煤矿坚硬顶板定向水力压裂技术[J]. 煤炭科学技术 1999 27(2): 51-52.
- Sun Shoushan, Ning Yu, Ge Jun. Polish mine hard roof directional hydraulic fracturing technology[J]. Coal Science and Technology, 1999 27(2): 51-52.
- [7] 聂 政. 二氧化碳炮爆破在煤矿中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2007 26(8): 140-141.
Nie Zheng. Application of carbon dioxide blasting in coal mine[J]. Coal Science and Technology 2007 26(8): 140-141.
- [8] 朱拴成, 周海丰, 李浩荡. 二氧化碳炮处理综采工作面巷道三角区悬顶[J]. 煤矿安全 2013 44(8): 144-146.
Zhu Shuancheng, Zhou Haifeng, Li Haodang. The application of carbon dioxide gun in processing hanging arch at triangle area of fully mechanized mining face roadway[J]. Safety in Coal Mines, 2013 44(8): 144-146.
- [9] 何晓东, 李守国. 应用深孔控制预裂爆破技术提高煤层瓦斯抽放率[J]. 煤矿安全, 2005 36(12): 21-25.
He Xiaodong, Li Shouguo. Application of deep hole controlled pre-splitting blasting technology to improve coal seam gas drainage rate[J]. Safety in Coal Mine 2005 36(12): 21-25.
- [10] 巴内吉 A, 雷 A K, 辛格 G. 高压注水控制坚硬顶板[J]. 中国煤炭 2004 30(12): 73-74.
Banerjee A, Ray K A, Singer G. High pressure water injection control of hard roof[J]. China Coal 2004 30(12): 73-74.