

液压支架电液控制系统故障诊断技术研究

王书明¹, 牛剑峰²

(1. 阳泉煤业(集团)有限责任公司 新元煤矿, 山西 寿阳 045400; 2. 北京天地玛珂电液控制系统有限公司, 北京 100013)

摘要:为解决液压支架电液控制系统使用过程中系统维护难度大、系统故障不能及时排除等问题,介绍了电液控制故障诊断的现状,系统分析了电液控制系统的失效模式与失效机理,通过对电液控制系统故障信息的分类、归纳、总结提炼,构建了电液控制系统故障树。从电液控制系统基本工作原理入手,以电液控制系统各部件行使的基本职能为依据,提出故障辨识的判别准则,完成了电液控制系统故障诊断系统的方案设计,进行了支架控制器及其配套传感器和执行单元的故障分析,并提出了相应的故障辨识方法,提出了故障诊断系统软件界面可视化实施方案,液压支架电液控制系统故障诊断技术已在红柳林、巴彦高勒煤矿等多个矿区得到广泛应用,可使液压支架电液控制系统故障及时排除。

关键词: 液压支架; 电液控制; 失效分析; 故障诊断

中图分类号: TD353

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2018)02-0225-07

Study on fault diagnosis technology of electro-hydraulic control system applied in hydraulic powered support

WANG Shuming², NIU Jianfeng¹

(1. Xinyuan Mine, Yangquan Coal Industry Group Corporation Limited, Shouyang 045400, China;

2. Beijing Tiandi-Marco Electronic-Hydraulic Control System Company Limited, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to solve high difficult system maintenance in the application process of the electro-hydraulic control system applied to the hydraulic powered support and hard to on time remove the system failure and others, the paper introduced the fault diagnosis status of the electro-hydraulic control and systematically analyzed the failure mode and failure mechanism of the electro-hydraulic control system. With the classification, conclusion and summarized extraction on the failure information of the electro-hydraulic control system, a fault tree of the electro-hydraulic control system was established. From the basic working principle of the electro-hydraulic control system, with the basic function conducted by each component of the electro-hydraulic control system as the basis, the discrimination criterion of the fault identification was provided and a plan design on the fault diagnosis system of the electro-hydraulic control system was completed. A failure analysis was conducted on the powered support controller and matched sensor as well as the executive unit. Meanwhile, the identification method of the relevant fault was provided. An implementation plan on the interface visualization of the fault diagnosis system software was provided. The fault diagnosis technology of the electro-hydraulic control system for the powered support was widely applied to the Hongliulin Mine, Bayan Gaole Mine and other several mines and the failure of the electro-hydraulic control system for the powered support could be timely removed.

Key words: hydraulic powered support; electro-hydraulic control; failure analysis; fault diagnosis

0 引 言

液压支架是煤矿开采主要装备,液压支架电液

控制系统是实现液压支架自动化的必要手段,液压支架电液控制系统融合了液压、控制、传感器检测、通信、计算机技术等内容,是煤矿井下作业的一项综

收稿日期: 2017-10-11; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2018.02.033

基金项目: 山西省煤基重点科技攻关资助项目(MJ2014-08); 能源自主创新资助项目(发改投资(2015)1780号)

作者简介: 王书明(1968—),男,山西阳泉人,高级工程师。E-mail: 759895019@qq.com

引用格式: 王书明,牛剑峰. 液压支架电液控制系统故障诊断技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(2): 225-231.

WANG Shuming, NIU Jianfeng. Study on fault diagnosis technology of electro-hydraulic control system applied in hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 225-231.

合一体化技术,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,实现以液压支架跟机自动控制为主,人工远程干预为辅的自动化生产模式^[1-2],降低了煤矿工人的劳动强度,提高了煤矿生产效率,为煤矿用户带来了巨大的经济效益^[3]。但是,我国液压支架电液控制系统及其主要元部件其可靠性、稳定性与国外同类产品还具有一定的差距,对现场环境适应能力不足^[4],液压支架电液控制系统故障诊断功能还比较薄弱,在使用过程中当液压支架电液控制系统出现故障时,还需要操作人员逐架排查,而对于有些随机故障或个别系统故障,操作人员无法准确定位故障点,使液压支架电液控制系统不能得到及时维护,液压支架电液控制系统的功能不能得以发挥,影响了工作面自动化系统的应用效果。因此,亟需对液压支架电液控制系统故障诊断功能进行系统全面的布局及实施,以提高系统故障识别性能,减少操作人员现场判断,降低操作维修人员的技术门槛,利用大数据、人工智能、故障识别技术,将故障诊断系统由故障信息挖掘转变为故障信息推送应用模式,降低系统使用成本,提高系统可维护性能,使操作人员可以及时排除液压支架电液控制系统故障,从而提高系统的可靠性和可用性^[5-6],为综采工作面无人化提供技术支撑。

1 液压支架电液控制系统故障诊断现状

当前液压支架电液控制系统的故障诊断主要还是人工观察和手动辅助操作人为判断为主,如对液压支架顶板承压超限故障显示报警,通过操作界面的压力显示值与机械压力表数据比对,来判断压力传感器是否正常工作,通过行程传感器数据显示和实际推移效果比对来判断行程传感器工作状态,通过单架电控手动点动控制来排查液压支架电液控制系统动作功能是否正常,通过选通邻架检查架间通信回路通信状况,在生产过程中通过查看采煤机位置是否能够正常跳变来判断采煤机位置检测功能是否正常^[7],需要通过操作人员现场排查或是通过专业技术人员通过大量数据分析才能有效地获得电液控制系统故障的相关信息,电液控制系统的故障排查存在着效率低、工作量大等问题。

2 电液控制系统失效模式与失效分析

1) 电液控制系统失效模式。液压支架电液控制系统的主要失效模式有功能失效、随机故障、性能下降、精度不足等,主要表现为传感器精度下降,液压阀动作缓慢,控制器偶尔无法操作控制,采煤机位置时而跳变,甚至不变等故障。

2) 电液控制系统失效机理分析。如图1所示。

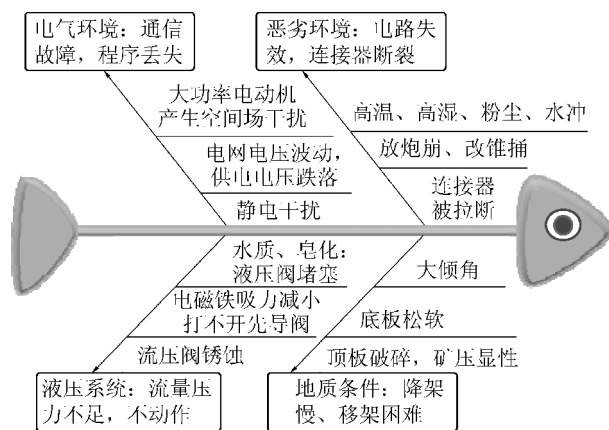


图1 液压支架电液控制系统失效因素分析

Fig. 1 Failure factors analysis of hydraulic control system for hydraulic support

液压支架电液控制系统失效因素^[8-10]主要有：
 ①环境污染。砸损、高压水冲击、高湿、高温等现场应用环境因素使得电液控制系统产品外壳密封失效,导致支架控制器及其配套产品进潮,出现电路漏电、短路等故障,这类故障在前期会随机出现故障,后期故障频发,最后导致功能无法实现,其主要原因是壳体防护措施不当造成的。
 ②电气干扰。在工作面采煤机、刮板输送机等设备均采用大功率电动机,在运行过程中会产生空间场干扰,供电系统是由高压移动变电站经过高压开关供电,在电网上有采煤机、刮板输送机、转载机、带式输送机、泵站等高压大功率用电单元,这些设备的启停控制会对电网产生波动冲击,因此,液压支架电液控制系统供电单元也会带来电磁干扰^[11],严重的会使电液控制系统程序紊乱,不能正常工作,甚至造成程序丢失,这类故障是随机的,很难捕获再现,其主要原因是电控产品抗电磁干扰能力不足,配套供电设备质量不好造成的。
 ③液压供液系统由于水质、皂化等问题,会造成过滤系统堵塞,使液压系统供液流量不足造成液压支架动作缓慢等问题,其主要原因是水质不好、未进行水的软化处理,在液压系统安装环节管路中进入了大

量污物,造成液压系统被污染。④由于传感器安装未标定或标定不当造成传感器显示值偏差超标。⑤由于传感器零点漂移,控制电路器件或液压机械部件损坏造成的故障。

液压支架电液控制系统故障可按照装备分类为:感知、传输、控制故障;按照系统功能分类为:人机交互、参数修改、动作控制;按照液压支架的职能划分为:顶板支护,煤壁管理,跟机速度,推移准确度,液压支架结构件防止干涉;按照无人化需求分类:环境检测与环境耦合,围岩检测与围岩耦合,液压支架姿态检测与位姿控制,人员检测与支架自动闭锁安全控制,采煤机位置与跟机自动化控制。

3)电液控制系统故障树。按照以上分析,对液压支架电液控制系统故障进行汇总、分类、归纳,构建液压支架电液控制系统故障树,如图2所示。图中按照液压支架电液控制系统组成部件及其主要完

成的迁移、支护任务,来对液压支架控制系统进行故障识别与归类,按照抗井下物理、电气污染环境系统故障及其表现行为进行故障辨识,可分为液压系统和电控系统2个部分,其中液压系统级的主要为主供液回路的流量和压力故障,执行元件为液控单向阀,其可为电液换向阀组的关键元部件电磁先导阀的故障辨识,以及对压力传感器工作性能有重大影响的不合理设计的液控单向阀可以导致产生水锤效应,是压力传感器损坏的重要因素。安全阀是液压支架泄压的安全部件,其可靠性也直接影响到液压支架的安全使用。电控系统故障诊断从感知、传输、控制入手,对压力传感器和行程传感器等电液控制系统感知部件按照其使用环境进行故障分类,从邻架通信到总线通信对传输系统进行故障因素分析,从操作控制到支架动作,完成采场迁移、顶板支护进行控制过程中的故障分类与成因分析。

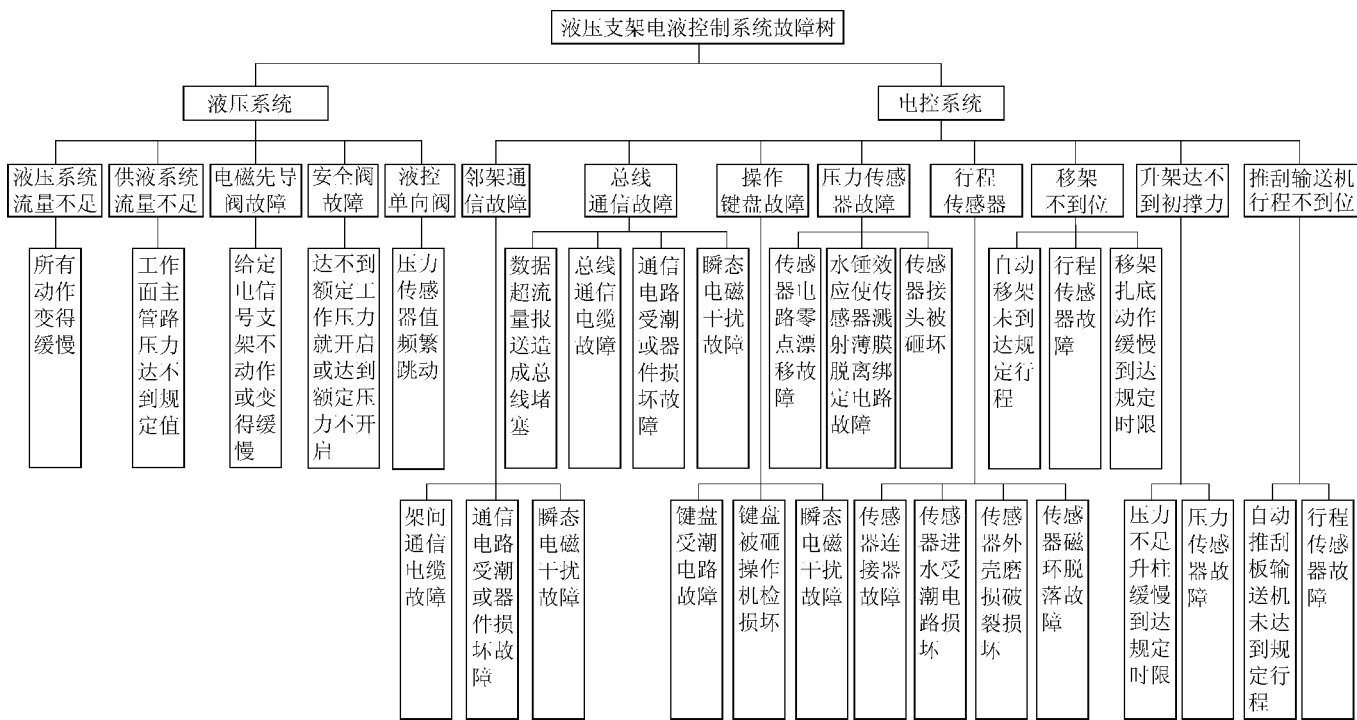


图2 液压支架电液控制系统故障树

Fig. 2 Fault tree of electro-hydraulic control system of hydraulic support

3 电液控制系统基本工作原理

要进行液压支架电液控制系统故障分析,首先要从系统组成入手,了解实现系统功能的主体及其工作原理,从设计到安装使用维护等多个环节来看整个系统可能存在的问题,提出应对措施,并通过数字化的手段展示给用户,以便在产品生命周期内容

对系统故障进行有效辨识,并及时得到处理。液压支架电液控制系统工作原理^[12]如图3所示。

系统由供电、供液单元为系统提供能量,由键盘和急停闭锁操作发出控制指令,由电磁铁顶杆推动先导阀阀芯,然后控制主阀实施液压支架油缸的动作,在动作过程中由传感器检测液压支架执行动作的状态。因此,在其每个环节都有相应部件的基本

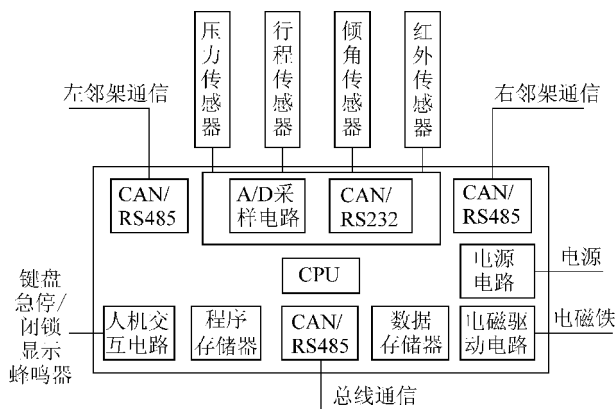


图3 液压支架电液控制系统电气原理

Fig. 3 Electrical principle of electro-hydraulic control system of hydraulic support

职能实现其相关功能,当该部件无法有效地行使其基本职能时,系统相关的功能和性能就无法达到设计要求,就应报送系统故障。故障诊断系统可以采用面向对象的设计方法进行设计,将组成系统的部件作为研究对象主体,系统的功能和性能是由不同对象组合,并按照一定业务逻辑和流程来实现的,也是系统职能的投影视图,当其部件功能无法实现或业务逻辑流程不能衔接时,就应报送相关故障信息。也可以从静态和动态,不同的运行工况入手来进行故障诊断系统设计。

4 电液控制系统故障诊断系统设计

故障诊断系统可以从系统实现的机理入手,按照不同的工作场景进行系统工况分析,最终从实现系统主体职能落地,着手解决系统故障诊断的问题。

4.1 电液控制系统通信系统故障诊断

通信系统是液压支架电液控制系统的基础,如果通信系统出现故障,整个电液控制系统将瘫痪,电液控制系统的各项功能将失效。

1) 双总线通信链路检测及其故障报送。在信号转换器上定期发送通信检测令牌,通过通信电缆,逐架呼响应接力将令牌从首架传送到末架,首先进行邻架通信回路检测,到末架后通过总线方式将通信检测令牌返回,当检测令牌信号返回到信号转换器时,及完成了工作面通信双回路的链路检测。在检测过程中,如遇通信令牌不能继续传送时,一方面通过总线将通信故障信息报送到信号转换器,另一方面,切换到另一回路继续传送通信令牌,在信号转换器多次收到相同的故障信息,对故障信息进行确认后,再向全工作面及其巷道监控中心报送通信故障

信息^[13-14]。

2) 电缆连接器断裂快速故障报送。基于令牌传递的通信链路检测是低速,缓慢的,否则可能会影响系统正常通信功能,通信故障信息报送需要较长的时间。而在生产过程中,由于支架移架过程中相互运动,才会造成电缆连接器挤断损坏^[15],因此,需要快速定位并报送架间的通信故障。为此,支架控制器在没有处理任务处于空闲状态时,每隔 50 ms 分别给左、右邻架发送一条通信检测命令,邻架接收到检测命令后给予应答,如果连续 5 次未收到应答信号时,就可以确认相邻支架连接电缆断裂,并可以直接发布通信故障信息,使得可以快速定位通信故障位置,并在 1s 中内报送通信电缆故障。SAC 型支架电液控制系统架间电缆故障报送实测时间为 850 ms。

3) 通信回路完整性检测与故障报警。为了检测通信回路的运行状态,保证报送到监控中心数据的完整性,为了确保数据的实时性,解决总线带宽的问题,又不能采用应答方式。通过实际测试,如图 4 所示,当在时间间隔 10~15 ms 的范围,CANBUS 总线会有可靠的传送特性。由此,可以测定单位时间内监控中心计算机上接收到的数据总量,结合定时定量包复核校验,以确定传输系统的健康状态。为了确认总线通信资源的可用性与完整性,在检修班的时段,可以发送定量包到巷道监控中心,在巷道监控中心来检查收到定量包中数据的数量,来确定总线通信的丢包率,可用总线畅通率来体现总线通信链路完整性能。当畅通率小于规定的阈值时,进行总线通信故障报警。

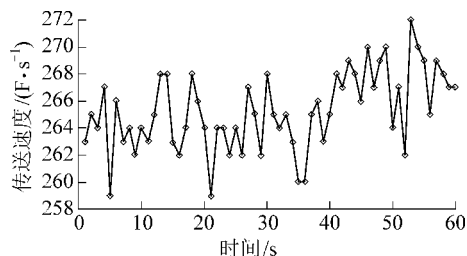


图4 间隔1帧/15ms传送数据

Fig. 4 Interval 1 F/15 ms transmit data

4) 工作面与巷道监控中心的通信检测与故障报警。信号转换器可作为工作面液压支架电液控制系统的服务器,对工作面数据进行收集、过滤与报送,对需要报送到监控中心的数据进行管理,负责工作面与巷道监控中心的时钟定时同步,与监控中心计算机进行定期的通信检测,以确保工作的数据能

够传送到监控中心,定期地检测监控中心和工作面通信系统的完整性^[16]。

4.2 人机交互系统故障诊断

人机交互系统是电液控制系统的输入与显示单元,通过人机交互,才能修改系统各项参数,发送支架动作控制命令等,急停、闭锁按钮更是电液控制系统的安全操控单元,急停、闭锁按钮必须采用带自锁的机械按钮,同时还应能够直接切断驱动电路的电源。

1) 键盘按键检测与故障报警。当键盘按键被砸坏时^[17],键盘电路会检测到该按键被持续按下的信息,此时,可以屏蔽该键盘信号,并将该支架的键盘编号报送到监控中心进行故障报警。

在通过键盘进行支架控制时,将操作键盘的键值报送到监控中心计算机上,通过建立支架动作与键盘操作的关联关系,确认按键操作的有效性。

当工作面连续采多刀,而某架的操作键盘从未被操作过时,报送该架键盘错误信息。

2) 急停、闭锁按钮故障识别与故障报警。急停、闭锁按钮按下时,将改变系统状态,并且在一段时段内不会将开关拨起,由于急停和闭锁按钮是带闭锁机械开关,当按钮开关出现问题时,将产生按钮抖动信号,因此,当急停、闭锁按钮信号在1 s内产生信号变化时,即急停、闭锁按钮故障。

3) 闭锁警示。在检修班维修期间,在采煤机机身范围内的液压支架均应按下闭锁按钮,如果在该机身范围内有未被按下的闭锁按钮时,应在监控主机上报警提示。

4.3 支架动作控制检测与故障报警

液压支架电液控制系统主要任务就是控制支架动作。液压支架控制执行单元主要有功率型驱动电路和电液转换先导控制。

1) 电磁驱动回路检测与故障报警。电磁驱动电路一般使用MOS功率管进行电磁铁的开关控制,电磁铁为感性负载,具有反电势,如果设计不当驱动电路会因为过压反冲造成驱动电路的漏电、常开电路故障。通过构建电磁驱动旁路降压回路,实现对驱动回路的检测。电磁回路检测可以包括短路、开路、漏电等3种工作状态。

2) 电液换向阀组状态检测与故障诊断。电液换向阀组的主要故障为电磁铁漏电,电磁铁顶杆和衔铁间隙变化引发的电磁铁吸力下降,造成无法打开先导阀,电液换向阀堵塞^[18]等故障。可以通过

键盘操作、动作指令、驱动电路工作状态和支架动作来判断电磁先导阀是否能够正常工作,由此进行电液阀故障报警。

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^[19]。因此,伴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,分析推移动作单位时间内行程的变化率趋势,当动作速度小于设定阈值时报送维修故障信息。

4.4 传感器状态检测与故障报警

传感器是电液控制系统感知单元,通过传感器可以了解液压支架动作状态。传感器通过连接器与支架控制器连接,当连接器被拉伸、挤压时会造成传感器的开路、短路故障,传感器电路由于温度变化会出现零点漂移、电路损坏等故障,另外,不同的传感器由于其特殊的构造和不同的安装位置及其安装方式,也会有不同的故障特征。

1) 压力传感器。由于液控单向阀性态特性不良,造成水锤现象使压力传感器承受高频的压力脉动,导致溅射薄膜电路被振脱落或绑定电路被振造成断路等故障,导致压力传感器输出信号固定不变,可以通过在支架升柱、降柱时观察压力变化情况来确定压力传感器是否故障。

2) 行程传感器。目前,行程传感器主要有干簧管式和磁滞伸缩2种方式,但其电路均为安装在一个密封的不锈钢管中,由于行程传感器是内嵌安装在油缸活塞杆中,并承受着高压,行程传感器测杆为直径为17.2 mm^[20],长600~1 200 mm,需要在油缸活塞杆上打深孔,其测杆与其深孔之间的间隙较小,测杆在油缸中处于悬臂状态,在长期运动过程中,会存在着测杆与深孔的摩擦,造成测杆破损,当出现其测杆密封端面加工精度不足或密封圈材质、规格或老化等问题时,会使高压液渗入测杆,造成行程传感器漏电^[21],电路失效。由于行程传感器冲击、振动造成干簧管短路,减少了行程传感器的测量行程。故障的行程传感器特征是行程传感器输出信号固定不变或有效行程缩短。

3) 倾角传感器。倾角传感器在0°~45°,45°~90°有不同的精度级别,0°~45°具有较高的精度,因此,在倾角传感器安装时应使其常态在该区间范围

内。同时倾角传感器安装在液压支架的底座、四连杆、顶梁上,由于液压支架结构件是锻造焊接完成的,倾角传感器在每台液压支架上的安装面不能保持同等状态,同时工作面的仰起不平,因此,在安装完倾角传感器后必须经过标定才能使用,以确保倾角传感器的测量精度。倾角传感器故障特征主要是振动后引起传感器松动,工作面倾角变化等因素需要再次标定,传感器零点漂移,传感器电路故障,造成传感器误差增大,甚至输出值不变。

4) 红外传感器检测、采煤机位置检测与故障报警。液压支架上安装的红外传感器用来接收在采煤机上安装的红外发射器信号。在采煤机割煤、液压支架移架过程中产生振动,会把红外传感器震松,使其方向偏移,无法接收采煤机上安装的红外发射器发送来的红外信号,另外红外接收器由于井下粉尘、喷水除尘造成红外接收器窗口被遮挡,无法接收红外信号。通过在信号转换器上分析红外接收信号,对其不连续的情况进行分析,对于连续割煤过程中从未收到过红外信号的支架进行红外接收器故障报警。

4.5 故障诊断系统软件设计

通过液压支架电液控制系统网络拓扑图构建液压支架电液控制系统监控系统界面,通过系统逐层级通信检测激活网络中的系统单元,构建整个电液控制系统的工作面双总线通信网络系统和工作面与监控中心连接的网络系统。当通信网络连接失败时,连接网线为灰色,表示通信网络连接故障,在系统网络图上,控制器、传感器、电磁阀等部件出现错误时显示黄色,处于故障状态时显示为红色,没有查看的故障诊断信息称为消息,当系统中有消息时,在屏幕下方的消息窗口将提示最新的消息,及未读取的消息数量,通过该方法,将系统故障信息以数据推送的方式报送给操作人员,省去了操作人员在大量的数据、界面中查找所要的故障信息。

5 电液控制系统故障诊断系统应用

电液控制系统故障诊断系统已经在红柳林煤矿、巴彦高勒煤矿等多个矿区得到广泛应用。液压支架电液控制系统监控界面如图5所示。

该界面显示工作面支架控制器与巷道计算机和地面计算机的通信连接状态,通过柱状图表示支架压力、行程,并使用不同的颜色表示工作面的状态,当传感器出现故障时,会在对应的传感器图形位置

上标以“×”表示该传感器故障。

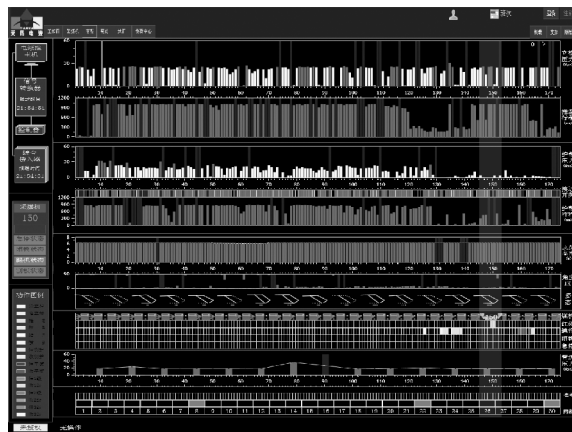


图5 液压支架电液控制系统监控界面

Fig.5 Monitoring interface of electro hydraulic control system for hydraulic support

6 结 语

笔者提出了一种液压支架电液控制系统故障排查方法,按照其产品基本功能、性能指标,以及提炼不同工况的特征参量来综合分析,构建了液压支架电液控制系统故障诊断系统设计方案,将故障信息推送到监控中心计算机上,解决了电液控制系统故障需要大量人力排查和专业人员分析的问题。生产维护人员可以通过计算机推送的故障信息进行井下故障排查、维修与更换,提高了液压支架电液控制系统的可维护性能,降低了系统的维护成本,提高了系统的维修效率,同时也能根据系统故障诊断信息,能够及时发现系统存在的缺陷,为提高系统可靠性和稳定性,为综采工作面无人化开采创造条件。

参考文献(References):

- [1] 王国法,牛艳奇.超前液压支架与围岩耦合支护系统及其适应性研究[J].煤炭科学技术,2016,44(9):19-25.
WANG Guofa, NIU Yanqi. Study on advance hydraulic powered support and surrounding rock coupling support system and suitability [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(9): 19-25.
- [2] 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.
- [3] 李首滨,黄曾华,王旭鸣,等.综采工作面装备远程控制技术发展报告[J].科技资讯,2016,14(12):173-174.
LI Soubin, HUANG Zenghua, WANG Xumin, et al. Progress report on equipment remote control technology of fully-mechanized coal face [J]. Science & Technology Information, 2016, 14(12): 173-174.

- [4] 汪隆靖. 综采工作面液压支架几种常见事故的预防与处理[J]. 科技与企业, 2012(20): 186.
WANG Longjing. Prevention and treatment of several common accidents of hydraulic support in fully-mechanized mining face[J]. Technology and Enterprise, 2012(20): 186.
- [5] 张命林, 罗跃勇. 液压支架电液控制系统使用中的问题及对策[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(9): 57-58.
ZHANG Minlin, LUO Yueyong. Problems and Countermeasures in the application of hydraulic control system of hydraulic support[J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(9): 57-58.
- [6] 李新胜, 宋建成, 曲兵妮, 等. 基于多级数据融合技术的液压支架故障诊断技术[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(12): 154-159.
LI Xinsheng, SONG Jiancheng, QU Bingni, et al. Fault diagnosis technology of hydraulic powered support based on multilevel data fusion technology[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(12): 154-159.
- [7] 李洋. 分析 SAC 型液压支架电液控制系统硬件及故障处理方法[J]. 黑龙江科技信息, 2016(19): 100-101.
LI Yang. Analysis of SAC hydraulic support electro-hydraulic control system hardware and fault handling methods[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2016(19): 100-101.
- [8] 王朋伟. 液压支架电液控制系统故障分析[J]. 能源与节能, 2016(11): 140-141.
WANG Pengwei. Fault analysis of electro hydraulic control system for hydraulic support[J]. Energy and Energy Conservation, 2016(11): 140-141.
- [9] 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.
- [10] 解成林, 梁勇, 张芳卫, 等. 2100 综采面支架电液控制系统问题分析及改进措施[J]. 河南科技, 2015(5): 64-66.
XIE Chenglin, LIANG Yong, ZHANG Fangwei, et al. Analysis and improvement measures of the electro hydraulic control system of 2100 fully-mechanized mining face[J]. Henan Science and Technology, 2015(5): 64-66.
- [11] 周俊良. 影响液压支架电液控制系统可靠性诸因素分析[J]. 煤矿开采, 2013, 18(3): 46-49.
ZHOU Junliang. Analysis of influencing reliability of electro-hydraulic control system of powered support and solutions[J]. Coal Mining Technology, 2013, 18(3): 46-49.
- [12] 张雪锋. SAC 型液压支架电液控制系统在耿村煤矿的应用[J]. 中国煤炭, 2012, 38(12): 69-71.
ZHANG Xuefeng. Application of hydraulic control system of SAC type hydraulic support in coal mine[J]. China Coal, 2012, 38(12): 69-71.
- [13] 李剑峰. 液压支架电液控制系统控制器故障处理[J]. 煤矿机械, 2010, 31(7): 175-177.
LI Jianfeng. Fault treatment of hydraulic control system of hydraulic support[J]. Coal Mine Machinery, 2010, 31(7): 175-177.
- [14] 周锴. 液压支架电液控系统安全使用及故障分析[J]. 价值工程, 2012, 31(22): 51-52.
ZHOU Kai. Safety operation and failure analysis of hydraulic support electrohydraulic control system[J]. Value Engineering, 2012, 31(22): 51-52.
- [15] 张海坡. ZE07-01 型液压支架电液控制系统的现场改进与故障诊断[J]. 中国新技术新产品, 2014(18): 107-108.
ZHANG Haibo. Improvement and fault diagnosis of electro-hydraulic control system of ZE07-01 hydraulic support[J]. China New Technologies and Products, 2014(18): 107-108.
- [16] 汪佳彪, 王忠宾, 张霖, 等. 基于以太网和 CAN 总线的液压支架电液控制系统研究[J]. 煤炭学报, 2016, 41(6): 1575-1581.
WANG Jiabiao, WANG Zhongbin, ZHANG Lin, et al. Research on electro-hydraulic control system of hydraulic support based on Ethernet and CAN-Bus[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(6): 1575-1581.
- [17] 牛剑峰. 矿用高可靠性薄煤开关式操作键盘研究[J]. 工矿自动化, 2015, 41(3): 38-42.
NIU Jianfeng. Research on high reliability keyboard membrane switch mine type[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(3): 38-42.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 李俊士, 魏冠伟. 一种行程传感器自动化检测装置的研制[J]. 煤矿机电, 2015(4): 24-27.
LI Junshi, WEI Guanwei. Research and Development of automatic detection device for distance sensor[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2015(4): 24-27.
- [21] 李剑峰. 支架电液控制系统传感器故障处理[J]. 煤矿机械, 2009, 30(8): 189-190.
LI Jianfeng. Sensor fault treatment of bracket electro hydraulic control system[J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30(8): 189-190.