

# 重型刮板输送机驱动方式比较分析

王 腾<sup>1</sup> 夏护国<sup>2</sup>

(1. 中国煤炭科工集团太原研究院 山西 太原 030006;2. 陕煤集团神南产业发展有限公司 机电设备管理中心 陕西 神木 719000)

**摘要:**在对刮板输送机驱动系统的现状及存在问题进行分析的基础上 提出了刮板输送机的启动及运行控制要求,介绍了变频电动机驱动、CST 可控驱动装置驱动及阀控充液型液力偶合器驱动系统的工作原理及特点,并从功能、技术性能、可靠性、技术经济性等方面对其优缺点进行了深入的分析和比较。分析认为,阀控充液型液力偶合器软启动系统功能完善、技术经济性合理,是重型刮板输送机理想的软启动装置。

**关键词:**刮板输送机;软启动;阀控充液型液力偶合器;CST 可控驱动装置;变频

中图分类号:TD528.3 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2013)09-0154-05

## Comparison and Analysis of Drive Modes Used to Heavy Duty Scraper Conveyor

WANG Teng<sup>1</sup> XIA Hu-guo<sup>2</sup>

(1. Taiyuan Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Taiyuan, Shanxi 030006, China; 2. Mechanical and Electrical Equipment Management Center, Shennan Industry Development Co., Ltd., Shaanxi Coal and Chemical Industry Group Co., Ltd., Shenmu 719000, China)

**Abstract:**Based on the state and problem for heavy duty scraper conveyor, proposed the condition of heavy duty scraper conveyor reliably starting and running, introduced the principles for frequency conversion motor drive, the CST and the fill controlled turbo coupling controlled by valves, discussed their merits and drawbacks when used in heavy duty scraper conveyor. And made deeply comprising and analyzing to their function, technical function, reliability, technology and economy etc. It concluded that there were the merits: full functions, reasonable technology and economy for the fill controlled turbo coupling controlled by valves, which was the ideal drive equipment for heavy duty scraper conveyor.

**Key words:**scraper conveyor; soft start; fill controlled turbo coupling controlled by valves; CST controllable drive; frequency conversion

## 0 引言

随着我国煤炭工业高速发展,对重型刮板输送机驱动系统的要求也越来越高,刮板输送机难启动、负载不均等问题也越发突出。目前在重型刮板输送机应用的软启动方式主要有电动机+减速器+阀控充液型液力偶合器、电动机+CST 可控驱动装置、变频电动机+减速器、变频器+电动机+减速器等。其中阀控型液力偶合器用量最大,CST 可控驱动装置也有使用,变频传动也开始应用<sup>[1-2]</sup>。一般认为,上述装备都可以实现刮板输送机的软启动、负载均衡及过载保护且效果良好<sup>[3-6]</sup>。由于软启动装置属技术密集型产品,其技术经济性很难简单下结论,用户

在实际选用时,容易无所适从。因此,笔者对各种软启动装置的原理、性能及在刮板输送机上应用的适应性进行了分析比较,并提出了选型建议。

## 1 刮板输送机启动的现状

由于综采工作面刮板输送机是和采煤机与液压支架配套使用的,采煤机在刮板输送机上行走,支架推动刮板输送机中部槽移动,工作中会出现煤壁片帮、刮板链卡死、刮板输送机上煤量过大等恶劣工况,常导致其频繁过载和意外停机;由于链轮传动的多边形效应、链道的起伏和水平弯曲,刮板输送机运行中会产生严重的冲击和刮卡。传统的驱动方式是采用限矩型液力偶合器或双速电动机,其中限矩型

收稿日期:2013-05-17;责任编辑:张 扬

基金项目:山西省科技攻关资助项目(20090321006);太原市科技明星专项资助项目(09121017);山西省自然科学基金资助项目(2010011036-3)

作者简介:王 腾(1964—)男,山西新绛人,研究员,博士,现任中国煤炭科工集团太原研究院首席专家。E-mail:wangteng40@126.com

引用格式:王 腾,夏护国.重型刮板输送机驱动方式比较分析[J].煤炭科学技术 2013,41(9):154-158,162.

液力偶合器由于尺寸和传递能力的限制,只能用在小功率刮板输送机上。目前刮板输送机双速电动机驱动系统在我国应用较多,主要适用功率 700 kW 以下,启动过程分为二级进行,即先低速启动再切换到高速。随着驱动电动机功率加大,传统驱动方式已不能适应刮板输送机的驱动及运行要求,存在以下突出问题。

1) 难启动。由于刮板输送机停车的随机性和负载的巨大波动性以及生产系统其他设备的原因,常导致输送机意外停机,经常需要在重载下重启刮板输送机,启动困难的情况经常出现。

2) 强大的机械冲击。一般电动机满载启动时间为 4~6 s,启动加速度可达 0.2~0.3 m/s<sup>2</sup>。刮板输送机的传动系统尽管有一定的预紧力,停机时,(在联轴节、齿轮、花键、链轮与链条、每对链环间存在各种间隙)传动系统为松弛状态,各个环节都有一定的间隙,且链条为弹性体。电动机启动瞬间,在克服间隙和链条拉伸的过程中,对整个传动系统造成强大的机械冲击,几乎所有的传动元件在这个过程中都要受到冲击应力。双速电动机驱动时,由低速切换到高速也会产生机械冲击。

3) 大电流对电网的冲击。带载启动时,电动机启动电流达到 6~8 倍的额定电流(有时甚至更大),导致电网电压下降,影响刮板输送机的启动性能,同时影响电网上其他设备的正常运行,引起其他设备欠压保护,造成误动作。刮板输送机的频繁启动,会使电动机绕组发热,从而加速绝缘老化,影响电动机寿命。

4) 多机驱动功率不均衡。由于电动机额定参数差异及链条节距变化、输送机上负载分布变动及链条张力变化(引起节距变化),存在严重的电动机功率不平衡问题,不能充分发挥配置功率的作用。并下测试结果表明<sup>[7]</sup>,机头机尾两传动部电动机的输出功率呈交替变化,刮板输送机总输入功率远低于配置功率,但对单台电动机而言,又存在短时频繁超载现象。对于超重型刮板输送机,负载不均匀问题会更加突出。

5) 过载冲击。由于链传动的多边形效应、链道的纵向起伏和水平弯曲,刮板输送机运行中的刮卡、冲击现象非常严重和频繁,极易导致传动元件如链条、齿轮等过载断裂,严重时导致电动机闷车,烧毁电动机。

## 2 3 种驱动装置的原理及特点

### 2.1 变频驱动的原理及特点

#### 2.1.1 变频调速驱动原理

变频一体机是变频器与异步电动机的结合体,其中异步电动机与普通感应异步电动机原理相同,但根据变频的工作条件又进行了特殊设计。变频器是利用电力半导体器件的通断作用把电压、频率固定不变的交流电变成电压、频率都可调的交流电源,从而实现电动机的调速运行。现在使用的变频器主要采用交-直-交方式(VVVF 变频或矢量控制变频),先把工频交流电源通过整流器转换成直流电源,然后再把直流电源逆变成频率、电压均可控制的交流电源以供给电动机。调速过程中,在低频区由于定子电阻压降不能忽略,将不能保持磁通不变,启动转矩将下降。因此在低频时,要尽量在保证主磁通不变的情况下,进行感应电动势能补偿,增加合适的补偿电压,提高启动转矩。一般来说,增加补偿电压,电动机启动转矩可以达到额定转矩的 1.5 倍。

大功率的防爆变频一体机国内还没有自行研制成功,国内某电动机厂研制的防爆 400 kW 变频一体机的主要参数如下<sup>[8]</sup>:①启动转矩:启动时(5 Hz)启动转矩为额定转矩的 1.25 倍,效率 0.69,功率因数 0.877,定子电流 356 A;②最大转矩:额定工况下(50 Hz)最大转矩为额定转矩的 2.18 倍,效率 0.95,功率因数 0.87,定子电流 243.8 A;③目前最高电压等级:1 140 V。德国保越公司的电动机(1 000 kW,1 140 V)<sup>[9]</sup>的最大起动转矩为额定转矩的 2.17 倍(国内未见有达到此指标的报道);随转速( $\leq 300$  r/min)的上升,最大转矩逐步下降为额定转矩的 1.49 倍,转速 300~1 500 r/min,保持额定转矩的 1.49 倍不变。变频器与变频专用电动机组合性能与上述的国产变频一体机性能类似,国内也有将变频器与变频专用电动机甚至普通电动机组合应用于刮板输送机上<sup>[1~2]</sup>。

#### 2.1.2 变频电动机驱动的工作原理

1) 启动过程。电动机和负载不脱离接触,通过改变频率的方法,使电动机的转速从 0(考虑到启动转矩的要求,一般从 5 Hz 即 150 r/min)开始逐步增加,随着链条间隙的消除,载荷加到电动机上。如果拖动转矩大于输送机的负载转矩,输送机开始启动。

按设定的速度曲线加速到满速,否则,启动失败。应考虑刮板输送机与带式输送机工况的区别,带式输送机由于输送带弹性较大,因此,电动机低速拉伸输送带时,输送带张力上升较缓;而刮板输送机工况则不同,刮板输送机链条的刚度比输送带大得多,因此,张力上升极为迅速,类似于给电动机增加一个陡峭的斜坡激励,对传动系统有一个明显的冲击。换言之,缺少电动机与输送机的软耦合过程。

2)载荷均衡。运行过程中,依靠设定的电流差反馈控制,通过变速实施主动负载平衡。

3)过载保护。通常在变频电动机与输送机之间安装摩擦限矩器,以限制传动过程中的尖峰转矩(快过载)。慢过载保护通过电动机的过流、过热保护进行。

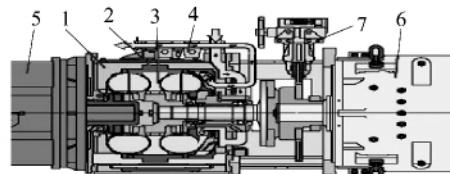
### 2.1.3 变频驱动特点分析

变频驱动特点:①该启动方式避免了电动机空载启动时的尖峰电流,启动电流冲击较小;可以在低速带载启动刮板输送机,但存在启动冲击。②电动机启动转矩较低,重载启动能力不足。③调速方便,适合于链,可以在任何需要的位置停止。④通过主动控制,可以实现多机驱动的负载均衡。⑤必须配置摩擦限矩器,其设置值一般为额定转矩的4倍,若摩擦限矩器的设置值低于电动机的颠覆点,则限矩器频繁动作,容易损坏,所以只能保护大于4倍额定转矩的冲击载荷,不能实现电动机与负载的快速脱离。⑥稳定运行时,过载系数只有1.49(德国保越),带负荷能力较低。⑦变频驱动工作过程中,会产生高次谐波,污染电网。⑧高次谐波会在电动机轴上产生轴电流脉冲,影响电动机轴承寿命<sup>[10]</sup>。

## 2.2 阀控充液型液力偶合器

### 2.2.1 结构组成

阀控充液型液力偶合器是以水为工作介质,将自动控制和涡轮传动技术紧密结合的新型软启动系统,由德国福伊特公司生产。在国内刮板输送机上应用的主要有DTPKW12型和TTT型2种类型。阀控充液型液力偶合器由主机、供水液压系统及控制器组成,其传动原理是成熟的液力传动技术,DTPKW12型机械部分基本结构如图1所示,传动叶轮采用双腔结构,传递能力大,大部分轴向力可以自动抵消,外泵轮组件与电动机轴连接并由其支撑,涡轮组件由机架上的轴承支撑,并与减速器一轴连接,有开放式和闭式循环2种工作方式。



1—外壳组件;2—外轮(泵轮);3—内轮(涡轮);4—控制阀组;  
5—驱动电机;6—减速器;7—闸盘

图1 阀控充液型液力偶合器驱动系统

### 2.2.2 闭式循环工作原理<sup>[11]</sup>

1)启动过程。①电动机空载启动:首先实施电动机的顺序空载启动,此时排液阀常开,排出工作腔残留的液体;②电动机空载识别:当监测到所有电动机电流降至空载电流,并且速度达到同步转速的90%,则认为电动机启动完毕;③输送机启动:机尾偶合器先开始充液,2s后机头偶合器充液,电动机逐步加载,带动链轮缓慢转动,拉紧链条,达到负载转矩后,输送机开始缓慢启动,偶合器继续充液,压力开关响应,停止充液。

2)刮板输送机的稳定运行。①液温控制:水温超过55℃时,开始换液,直至温度低于40℃;②偶合器水位控制:一旦监测到水位压力消失,立即补液;③充排液阀监测:每经过固定的时间,进行1次充排液动作,监测充排液阀的功能是否正常。

3)负载均衡。①在刮板输送机的启动过程中,监视机头和机尾电动机电流,一旦机头电动机电流超过机尾电流的35%时,机头偶合器停止充液,直至二者电流小于这个界限,机头才开始继续充液,直至液位开关响应;②在运行过程中,由于偶合器的自然特性,可以实现多机驱动的负载均衡。

4)过载保护。①由于偶合器的零速工况转矩设定值接近但低于电动机的颠覆转矩值,在刮板输送机突然刮卡时,靠泵轮和涡轮间的打滑来保护传动元件。因此,既能保证充分利用电动机的启动能力,又能有效地保护电动机和传动元件,同时又保证了系统的带载能力。②当因偶合器过载打滑,使水温达到80℃,控制系统控制排液阀迅速排液,保护传动系统。

### 2.2.3 主要特点

阀控充液型液力偶合器软启动系统具有以下主要特点:①可频繁启动而没有温度问题,没有启动次数限制;②带载启动能力强;③柔性传动,可隔离振动与冲击,有效的过载保护;④由于水在一定温度

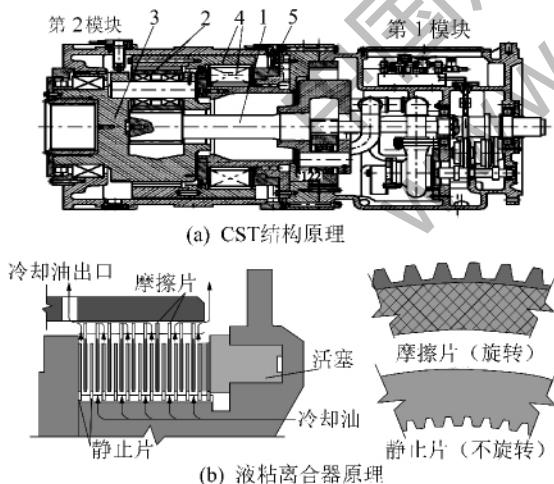
下,水中的钙、镁粒子与酸根粒子结垢速度加快,容易结垢,导致系统中的细小孔结垢堵塞,引起控制阀发生故障。近年来发展了开式系统,由于工作温度低,控制阀减少了2个,由结垢和堵塞引起的故障也明显减少,可靠性进一步提高,但耗水量略有增大。

### 2.3 CST 可控驱动装置

用于工作面刮板输送机的 CST 可控驱动装置系统(简称 CST)是一个带有电-液反馈控制及齿轮减速器、在低速级装有湿性离合器的机电液一体化高技术驱动系统。CST 由机械传动系统、电-液控制系统及冷却控制器系统组成。

#### 2.3.1 机械传动系统

CST 机械部分总体结构如图 2a 所示,由 2 个模块组成,第 1 模块为输入模块,内安装有离心式低压冷却泵、径向柱塞式高压泵和热交换器等;第 2 模块为行星减速部,这部分是 CST 减速器的核心部分,内有两级行星减速,其中输出级内齿圈为活动内齿圈,其上装有摩擦片、环形油缸等。液粘离合器原理如图 2b 所示,采用有树脂纤维的动、静摩擦片,在摩擦片间,通以具有一定粘度的润滑介质,使其在摩擦片间产生液粘油膜,采用电液控制技术,利用环形油缸对其施加控制要求的压力,形成剪切力矩,从而控制改变减速器的输出转速。



1—太阳轮;2—行星轮;3—行星轮架-输出组件;  
4—活动内齿圈及离合器组件;5—环形油缸

图 2 CST 可控驱动装置机械结构原理

#### 2.3.2 电液控制系统

为了对减速器液粘离合器的环形油缸进行有效的控制,采用了电液伺服阀为核心元件的电液控制系统,在该系统中,分别设置了 2 套控制回路,一套

为环形油缸加压的液应回路,主要通过电液伺服阀对离合器环形油缸按控制律进行加压和卸压;另一套回路为摩擦片冷却润滑回路,一方面保证摩擦片间形成油膜,具有剪切力矩,另一方面,能够将摩擦片间的滑差发热带走并冷却,保证润滑油在规定的工作温度下正常工作和保持正常的粘度值。

#### 2.3.3 工作原理<sup>[12]</sup>

1) 刮板输送机的软启动。在对各 CST 进行预加压之前,首先要等待各电动机顺序启动完毕,一旦这个过程完成,各驱动以同步的模式使刮板输送机进入加速阶段,从而以最大的牵引力启动负载,随后以可控模式加速至名义速度。预加压及刮板输送机启动过程如图 3 所示。①离合器预加压:电动机启动完成后,给环形油缸预先施以规定水平的压力,应确保空载的刮板输送机不启动,离合器压力被置于机械间隙都得到消除和平衡的操作点上。在规定的时间周期内,如果离合器压力稳定在规定的压力误差范围内,认为预加压过程完成。②刮板输送机加速:环形油缸的预加压过程完成后,开始尝试加速刮板输送机。为此,开始提升离合器压力,首先以规定的增压斜率同时对机头和机尾离合器加压。达到规定的压力值,机头增压过程暂停,机尾的压力继续增加,以便拉紧底链,当延迟时间到期后,机头压力增加并恢复。如果在规定的时间内,刮板输送机开始启动,并达到规定的名义滑差值,则加速过程完成。

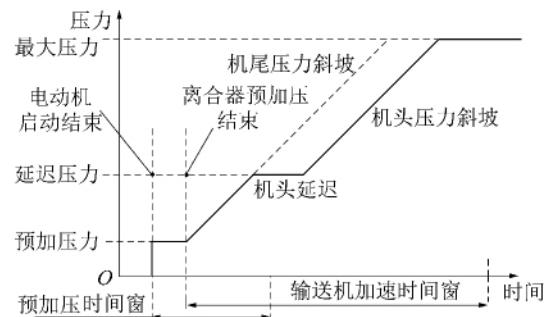


图 3 预加压及输送机启动过程

2) 刮板输送机的负载均衡。在刮板输送机开始运行以后,负载均衡控制器开始工作,载荷均衡程序防止机头架底部和机尾架顶部链条松弛(可能会导致与转载机链条的干涉)。采用 PID 控制技术分摊各电动机的负载,通过 2 个载荷极限值设定将刮板输送机的全部载荷范围分为 3 个子区:低载范围、中载范围及重载荷范围。在不同的载荷范围采用不同的载荷评价因子进行均衡。

3)过载保护。①软过载:任意一个电动机电流超过最大允许电流(1.8倍额定电流)并持续1.5 s(此时离合器没产生打滑),控制所有离合器脱开;②硬过载:离合器的最大压力决定了过载保护转矩,当监测到电动机降至额定转速的90%,离合器滑差达到名义最大滑差的90%并持续0.15 s;控制器通知所有离合器脱开。

### 2.3.4 主要特点

CST主要特点如下:①可频繁启动,但启动次数受冷却系统能力限制;②迅速、完善的过载保护;③可以利用电动机的颠覆点,一般在额定转矩的2.5倍以上颠覆转矩以下;④摩擦片是故障点,液压控制系统对油液清洁度要求高,维护修理复杂,存在电动机空载电流启动冲击。

## 3 驱动装置的其他技术经济指标分析

1)运行效率。为了使效率分析具有可比性,驱动系统的效率按照机电系统进行综合计算,以电动机的电气进线端作为输入,至负载作为输出来计算系统效率。

计算方法是先计算各个环节的效率,然后相乘即得到总效率。①变频驱动的能量流是供电电网→变频器→电动机→减速器→链轮。②阀控充液型液力偶合器驱动系统的能量流是供电电网→电动机→液力偶合器→减速器→链轮。③CST驱动系统的能量流是供电电网→电动机→CST减速器→链轮。额定运行时,CST减速器等同于定比减速器,因此效率接近于0.94~0.97,以CST45(额定功率800 kW)为例,损耗功率24~48 kW,此外,CST液压系统中配置了加压油泵和润滑冷却泵,计算中应予以计入;其中,变频器效率、液力偶合器效率均按0.93~0.96计,减速器效率按0.94~0.97计,CST可控驱动装置效率为0.878~0.904,电动机效率按0.900计,计算得到系统效率分别为0.787~0.838(变频驱动、阀控充液型液力偶合器)、0.79~0.82(CST)。以上估算说明3种驱动系统的效率基本相当。

2)可靠性。变频电动机驱动的可靠性主要取决于变频器和摩擦限矩器的可靠性;若变频器出现问题,须专业人员才能维修;变频传动的高次谐波易引起工作面其他设备电气故障和额外发热;其轴电流也容易对电动机轴承产生电化学腐蚀。CST系统中的电液伺服阀对油的清洁度要求较高,系统也较

复杂,维修技术要求高,在井下维修的可能性不大。阀控充液型液力偶合器可靠性主要取决于阀的可靠性,原因在于结垢易导致控制阀堵塞,引起故障;采用开式系统后,降低了系统工作温度,减少了结垢风险,维修技术要求低,简单问题在井下即可处理。

3)初期投资。以1 000 kW驱动系统为例,3种驱动系统装置的初期投资见表1。可以看出,变频一体机的初期投资最大,而阀控充液型液力偶合器初期投资最小。

表1 驱动系统初期投资

驱动装置类型	费用/万元				
	电动机	偶合器	减速器	摩擦限矩	总计
阀控液力偶合器	70	265	102	—	437
变频一体机	500(保越)	—	102	50	652
CST驱动	70	—	450	—	520

4)国产化程度。变频一体机技术复杂,关键元部件仍需进口,目前国内还没能力独立研制大功率的变频一体机,部分关键技术尚未突破;CST属于机电液一体的综合产品,之所以一直未进行国产化,主要难度在于摩擦片性能不过关,阀控充液型液力偶合器原理简明,实施技术相对简单。国内山西天地煤机装备有限公司已将其完全国产化,并已批量投产。

## 4 结语

笔者分析了3种刮板输送机驱动装置的工作原理和特点,每种驱动装置都有各自的长处和不足。用户希望设备性能可靠,操作简单,功能完善,维修简单,价格低廉。这些要求通常相互矛盾,技术指标要求过高必然导致系统复杂,维护修理困难,故障环节多;反之,技术指标要求合理,系统简单,可靠性、经济性可以进一步提高。刮板输送机驱动装置选型时,既要借鉴先进经验,又应结合现场实际,从技术经济性等方面综合考虑。阀控充液型液力偶合器在技术指标上相对要低一些,但功能全面,使用、维护、维修技术相对简单,综合技术经济性能较高。特别是阀控充液型液力偶合器已实现了国产化,并通过创新设计,其性能及可靠性有了进一步的提高,为国内用户使用提供了极大的便利条件,应该是现阶段适合国情,技术经济性能合理的可控软启动装置<sup>[13]</sup>。同时,阀控充液型液力偶合器的调速性能尚

(下转第162页)

由于煤层瓦斯含量测定技术难度较大,受煤的灰分、水分以及采样方法、采样时间等内外因素影响,煤层瓦斯含量的测定的重现性通常不太好,而且没有办法作重复样进行对比,因此煤层瓦斯含量的“真值”难以掌握。笔者仅以实验室测定方法为参考,对比分析两者的测定误差。表2数据中的实验室测定值,晋城伏岩山矿3号煤层瓦斯含量是依据自然解吸法测定的,其余均为真空脱气法测定的。洛阳何庄矿二,煤层瓦斯含量所用的煤样,由于部分煤样灰分太大,测定值误差较大。总之,与实验室瓦斯含量测定方法相比,CHP50M型煤层瓦斯含量快速测定仪的测定误差一般在10%之内,平均为4.36%,完全可以满足煤层瓦斯含量测定的要求。

### 3 结 论

1) 依据煤的瓦斯解吸速度衰减规律反推瓦斯解吸速度特征参数 $V_1$ 时,应选用解吸前3 min的数据进行指数方程回归,超过3 min后所推算的 $V_1$ 值偏小,且解吸时间越长 $V_1$ 偏小程度越大。

2) 煤层瓦斯含量 $W$ 与煤的瓦斯解吸速度特征参数 $V_1$ 较好地符合线性关系,应采用井下现场采取的原煤煤样的实测瓦斯解吸特征参数 $V_1$ 和实验室真空脱气法测定的瓦斯含量 $W$ 线性回归得出其线性回归系数,不宜采用实验室模拟的方法确定。

3) 基于瓦斯解吸速度法的煤层瓦斯含量快速测定仪应采用多量程流量传感器组合的方式,以满足宽范围的准确测定。

(上接第158页)

没有充分发挥其研制、生产单位应在保留其现有优点的基础上,通过进一步改进,提高其技术指标。

#### 参考文献:

- [1] 魏训涛,李杰,李振安. BPJ-400/1 140型变频器在刮板输送机上的应用[J]. 山东煤炭科技,2011(6):213.
- [2] 张成刚. 交流变频调速技术在刮板输送机驱动系统上的应用[J]. 2011,32(10):209-210.
- [3] 韩纪志. 用于放顶煤后部刮板机的阀控充液型液力偶合器[J]. 煤炭工程,2006(6):86-87.
- [4] 姜敬. 变频电动机在综采工作面刮板输送机的应用[J]. 煤机电机,2012(3):100-102.
- [5] 刘树. CST可控传动装置在综采面刮板输送机中的应用[J]. 煤矿开采,2006,11(5):92-93.
- [6] 毛君,赵金元. 刮板输送机的启动动力特性与软启动技术

4) 现场应用结果表明,CHP50M型煤层瓦斯含量快速测定仪测定平均误差为4.36%,可以满足煤层瓦斯测定的要求。

5) 矿井应针对不同煤层、不同水平和不同采区,分别进行 $W-V_1$ 线性回归系数 $A$ 、 $B$ 值的测定,以提高煤层瓦斯含量快速测定的准确性。应尽量避免全矿所有煤层使用同一组系数,更不要借用其他矿井的系数来测定自己矿井煤层瓦斯含量。

#### 参考文献:

- [1] 王震宇,王佑安. 煤层瓦斯含量测定方法评述[J]. 煤矿安全,2012,43(S0):129-132.
- [2] 王刚,程卫民,谢军等. 瓦斯含量在突出过程中的作用分析[J]. 煤炭学报,2011,36(3):429-434.
- [3] 景国勋,张强. 煤与瓦斯突出过程中瓦斯作用的研究[J]. 煤炭学报,2005,30(2):169-171.
- [4] 胡千庭,邹银辉,文光才等. 瓦斯含量法预测突出危险新技术[J]. 煤炭学报,2007,32(3):276-279.
- [5] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [6] 秦玉金. 地勘期间煤层瓦斯含量测定方法存在问题及对策分析[J]. 煤矿安全,2011,42(8):144-146,161.
- [7] 魏风清,史广山,张铁岗. 基于瓦斯膨胀能的煤与瓦斯突出预测指标研究[J]. 煤炭学报,2010,35(8):95-99.
- [8] 陈向军. 强烈破坏煤瓦斯解吸规律研究[D]. 焦作:河南理工大学,2008.
- [9] 王兆丰. 空气、水和泥浆介质中煤的瓦斯解吸规律与应用研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2001.
- [10] 富向,王魁军,杨天鸿. 构造煤的瓦斯放散特征[J]. 煤炭学报,2008,33(7):775-779.

[J]. 煤炭科学技术,2002,30(2):38-42.

- [7] 张忠国. 改善双速双驱动刮板输送机驱动性能的设想[J]. 煤,1998,7(5):60-62.
- [8] 杨秀玲,钱良,李大新等. 刮板输送机用防爆变频电动机设计[J]. 电动机技术,2011,21(12):36-38.
- [9] 牛旭原. 综采刮板运输机大功率变频驱动系统及与CST、TTT系统的性能比较[J]. 内蒙古煤炭经济,2009,7(1):75-77.
- [10] 傅莉. 轴电流对变频电动机的影响和预防措施[C]//天津市电动机工程学会2009年学术年会论文集. 天津:天津市电动机工程学会,2009:150-156.
- [11] Voith Turbo GmbH and Co. KG. Installation and Operating Manual Fill-Controlled Turbo Couplings. 3626-019350 [M]. Germany: Voith Turbo 2004.
- [12] Lunen DBT,GmbH. PMC Drive Control System [R]. Germany: DBT 2000.
- [13] 王腾. 阀控充液型液力偶合器外特性建模及其线性化[J]. 煤炭科学技术,2012,40(1):99-103.