

# 重型刮板输送机成套装备智能化关键技术

孟国营<sup>1</sup> 李国平<sup>2</sup> 沃磊<sup>3</sup> 汪爱明<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京) 北京 100083; 2. 中煤张家口煤矿机械有限责任公司 河北 张家口 075025;

3. 安标国家矿用产品安全标志中心 北京 100013)

**摘要:** 针对重型刮板输送机成套装备智能化对实现自动化无人工作面的重要性, 指出了实现成套装备智能化的关键技术, 比较分析了3种软启动技术, 介绍了实现变频调速软启动的2种方法以及谐波抑制技术与变频控制系统, 阐述了通过控制伸缩机尾油缸压力实现链条张力自动控制原理, 利用霍尔传感器检测链条故障的传感装置, 提出了刮板输送机远程工况监测诊断与控制系统的架构, 最后指出了重型刮板输送机成套装备智能化亟待解决的问题。

**关键词:** 重型刮板输送机; 智能化技术; 软启动; 自动伸缩机尾

中图分类号: TD528

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)09-0057-04

## Intelligent Key Technologies of Complete Heavy Scraper Conveyor Equipment

MENG Guo-ying<sup>1</sup>, LI Guo-ping<sup>2</sup>, WO Lei<sup>3</sup>, WANG Ai-ming<sup>1</sup>

(1. China University of Mining and Technology (Beijing) Beijing 100083, China; 2. China Coal Zhangjiakou Coal Mining Machinery Corporation Limited Zhangjiakou 075025, China; 3. Mining Products Safety Approval and Certification Center Beijing 100013, China)

**Abstract:** According to an intelligent importance of complete heavy scraper conveyor equipment to the realization of an automatic unmanned coal mining face, the paper pointed out the key technology to realize the intelligent of the complete equipment and compared and analyzed three soft start technologies. The paper introduced two methods to realize frequency conversion speed regulated soft start as well as the harmonic restraint technology and frequency conversion control system. The paper stated the chain tension automatic control principle realized with the pressure control of the cylinder at the extension tail. A Hall sensor was applied to detect a sensing device of the chain fault. The paper provided architecture of the scraper conveyor remote performance monitoring diagnosis and control system, finally pointed out the intelligent problems to be solved of the complete heavy scraper conveyor equipment.

**Key words:** heavy scraper conveyor; intelligent technology; soft start; automatic extension tail

## 0 引言

随着采煤技术的发展, 为了有效提高煤炭开采安全性、开采效率和产量, 国内各大型、特大型矿井将一井一面或一井两面、超长工作面、大采高、长走向作为主要开采方式, 将日产量达到3万t以上, 年产千万吨以上作为生产目标。作为长壁工作面的主要运输设备<sup>[1]</sup>, 刮板输送机成套装备的整体技术水平影响着工作面的安全、产量和开采效率。为了满足“一矿、一井、一面”安全高效年产千万吨矿井开采需要, 年过煤量千万吨的重型、智能化刮板输送机已经成为国内外刮板输送机成套装备的发展趋势<sup>[2]</sup>。目前, 国内已自主研发出槽宽为1 000、

1 350、1 500 mm, 装机功率为3×1 000、3×1 500、3×1 600 kW等系列的重型、超重型刮板输送机成套装备。但是, 在向大型化发展的同时, 设备自动化、智能化程度亟待提高。变频调速软启动、链条张力自动控制与故障诊断、远程工况监测诊断与控制等机电液一体化技术的应用将成为今后重型刮板输送机智能化的重要标志。基于此, 笔者详细论述了实现这3种关键技术的设备及原理, 以期重型刮板输送机成套装备智能化发展提供技术参考。

## 1 变频调速软启动技术

在855 kW以下的刮板输送机上多采用双速电动机驱动方式, 双速电动机驱动解决了刮板输送机

收稿日期: 2014-04-15; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.09.0013

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1361127)

作者简介: 孟国营(1963—), 男, 河南孟县人, 教授, 博士。Tel: 010-62331500, E-mail: menggy@263.net

引用格式: 孟国营, 李国平, 沃磊, 等. 重型刮板输送机成套装备智能化关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 57-60.

MENG Guo-ying, LI Guo-ping, WO Lei et al. Intelligent Key Technologies of Complete Heavy Scraper Conveyor Equipment[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 57-60.

带载启动时电流过大,对设备和电网冲击大的问题。但当设备进一步增大时,双速电动机驱动出现了无法重载启动的问题,软启动技术及装置有效解决了该问题。目前,软启动装置已成为重型刮板输送机的标准配置,主要有阀控充液式液力偶合器(TTT)<sup>[3]</sup>、可控启动传输装置(CST)<sup>[4]</sup>和变频调速<sup>[5]</sup>3种软启动技术。其中,在重型刮板输送机成套装备上应用TTT、CST实现软启动,虽然解决了双速电动机无法重载启动的问题,但对水质或油质的要求严格,维护使用成本高,基本没有节能功效,无法实现自动调速,且在功率平衡方面效果不佳。而在重型刮板输送机成套装备上应用变频调速软启动技术,能够真正实现带载软启动,多电动机功率平衡,低速与高速之间无级平滑任意调速,节约电能,减小设备磨损、提高设备寿命,维修费用低,采煤综合成本低等功能,具有明显的优势。

鉴于此,笔者认为变频调速软启动技术将成为实现重型刮板输送机成套装备重载启动的主流技术。有2种方案可实现变频软启动:①一体变频电动机方案;②矿用防爆电动机+变频中心方案。目前,一体式变频电动机已在神东矿区应用10余套,分体变频驱动方式在平煤集团、兖矿集团和神东集团少量使用。德国已突破IGBT耐压的限制,研制出了3300V矿用一体式变频电动机,国内有电动机生产厂家也正在积极研发矿用一体式交流变频电动机。国内能够生产变频中心的厂家较多,但核心元件仍需进口。

将现有变频调速软启动技术及装置成熟地应用到刮板输送机成套装备中,主要有如下2方面的问题需要研究解决。

1) 研究谐波干扰抑制技术。在分体变频系统中,连接变频器与电动机的动力电缆存在杂散电容,会产生容性漏电流,该电流受高次谐波的激励产生衰减振荡,造成电动机过电压,损坏电动机;动力电缆输出的电力成为干扰源,对供电系统、负载电动机及其他邻近电气设备产生干扰。

一体化变频电动机将变频器与电动机集成在一起,变频器与电动机之间的连接电缆非常短,并且统一封装在隔爆壳体内,有效解决了动力电缆对电气设备造成的谐波干扰问题。但动力电源接口通过开关与变压器与电网连接,必然对电网造成谐波干扰。目前,推荐的解决方案有2种,一是采用2台有30°相位差的移动变压器来供电,并且尽可能地保持负载平衡,但其实际效果仍需实践证明;二是在输入侧接入LC滤波器,抑制谐波。

2) 研制变频控制系统。该系统主要实现多电动机功率平衡和运输系统的协调控制。负载不均匀会导致各个电动机输出功率不平衡,可能造成1台电动机或多台电动机过载,损坏或烧毁电动机。采用“一主两从”控制策略,使各个电动机的有功功率尽量保持一致,实现功率平衡。普通电动机只能进行高低速的切换,即使负载很少,也高速运行,增加了设备磨损量,消耗大量不必要的电能。采用根据负荷(电流大小)控制刮板输送机速度,与采煤机、巷道带式输送机等上下游设备的协调控制的策略,可以降低设备磨损,节约电能,使得运输系统协调运行,整体效能最大化。

考虑到以单片机、ARM、DSP等为核心的嵌入式控制系统普遍存在数据处理速度慢、人机交互功能不丰富、抗干扰性能差等缺点,推荐以工业级计算机为核心,开发隔爆型变频控制器,实现多电动机功率平衡和运输系统的协调控制。

## 2 链条张力自动控制与故障诊断技术

采煤机往复割煤,输送设备的负载周期变化;煤壁片帮,负荷瞬间增大;2种情况均会导致链条张紧程度发生变化。链条过紧会加剧链条和压链板的磨损;过松会产生堆链,影响它与链轮的啮合,导致跳链、断链事故。合理控制链条张紧力,可以减少磨损、提高使用寿命和可靠性。一旦链条发生断链、跳链等故障,必须及时采取相应措施,否则影响安全生产。国内外普遍采用自动伸缩机尾,根据负载的周期性变化,调整链条张紧程度,实现链条张力的自动控制。虽然也有相关学者研究了链条故障诊断方法,形成了相关专利,但尚未见应用于井下的链条故障诊断装置。

1) 自动伸缩机尾技术。自动伸缩机尾原理如图1所示,自动伸缩机尾控制器采集油缸压力,与目标值进行比较,通过阀组控制油缸动作,使活动的机尾移动,实现链条张力的自动调节。使用该自动伸缩机尾,首先必须设定空载和满载情况下油缸压力数值,并根据实际运行状况人工定期修正,油缸压力不得超出该范围;其次要综合考虑电动机电流和采煤机位置等因素,合理确定油缸压力的目标值。由于难以准确确定空载、满载和反映链条合适张紧程度的油缸目标压力,该自动伸缩机尾的实际应用效果不佳。智能型链条通过在链条内部嵌入测量芯片,检测链条张力,通过无线传输至控制器,与推荐预张紧力作比较,控制活动机尾的动作,实现链条张力自动控制,这种方案值得尝试。

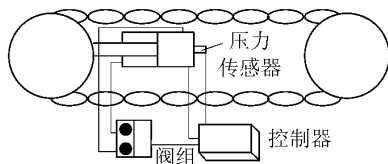


图1 自动伸缩机尾原理示意

2) 链条故障诊断技术。目前,主要有 2 种链条故障诊断方法,第 1 种链条故障诊断方法如图 2a 所示。正常情况下,经过链轮的刮板带动固定轴舌板绕固定轴不停的摆动。当固定轴舌板与霍尔传感器正对时,输出低电平;否则,输出高电平。刮板输送机正常运行时,霍尔传感器会不断地输出标准脉冲信号。若发生断链或堵转故障,霍尔传感器将一直输出低电平;若发生断刮板故障,霍尔传感器将较长一段时间的低电平(时间将大于一个标准脉冲周期);若设备为边双链,可设置 2 个霍尔传感器,发生跳链故障时,2 个霍尔传感器输出的脉冲信号将会产生一定的相位差<sup>[8]</sup>。利用分析仪测量霍尔传感器输出脉冲信号,就可以判断刮板链是否发生断链、断刮板、堵转、跳链等故障。

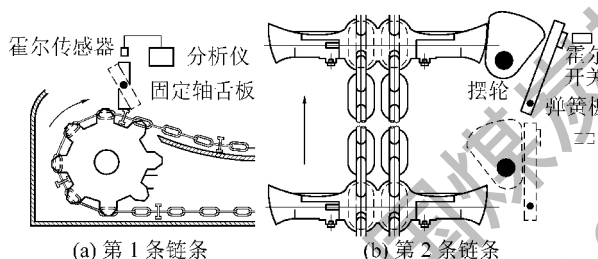


图2 链条故障诊断方法原理

第 2 种链条故障诊断原理如图 2b 所示<sup>[9]</sup>,刮板在链条的带动下会均匀地通过摆轮,将摆轮压出推动弹簧板至接近霍尔开关,开关输出低电平;当刮板离开时,摆轮弹簧板复位,远离霍尔开关,开关输出高电平。正常情况下,霍尔开关输出标准脉冲信号;若发生断链、断刮板、堵转和跳链故障,输出脉冲信号特征同原理 1。利用原理 1 开发出的链条故障诊断装置已在神东集团选煤厂的地面刮板输送机上应用,效果很好。但尚未见原理 2 在现场实际应用。

### 3 远程工况监测诊断与控制技术

远程工况监测诊断与控制系统由井下监控系统、地面调度室集控平台和异地远程监控诊断平台组成<sup>[10-15]</sup>,如图 3 所示。

1) 井下监控系统由链条故障诊断装置、减速器监测装置、变频控制器、伸缩机尾控制器、视频采集装置、振动采集装置、巷道集控平台组成。其中:

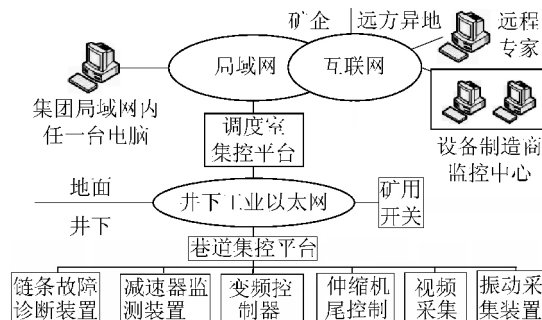


图3 远程工况监测诊断与控制系统结构示意图

减速器监测装置实时采集减速器输入输出轴的温度、冷却水的压力、流量和温度、润滑油的液位、温度和污染度等级。巷道集控平台作为上位机,读取所有工况数据;电压、电流等电量参数可直接从开关读取;在工作面巷道集控平台上,可根据视频等信息操控成套输送设备的启停、推移刮板输送机、拉架等,实现工作面无人或少人。所有数据通过集控平台经工业以太网上传至地面,由调度室集控平台接收、处理。

2) 地面调度室集控平台可设置数据服务器、监控服务器、Web 服务器等,分别用于管理历史工况数据、远程操控井下成套设备,与设备制造商、行业专家共享工况数据。

3) 异地远程监控诊断平台将设备制造方、使用方和行业专家紧密联系起来,实现设备全寿命周期的管理,保证设备在井下稳定运行,保障煤矿安全高效生产。设备制造方在公司内部设置监测中心,主动掌握销售出的任一成套刮板输送设备的运行信息,同时利用这些信息,为矿方提供更好的服务(及时准备易损件、技术服务)。同时行业专家也可利用该平台对设备健康状况进行会诊,及时诊断,辅助决策。远程工况监测诊断与控制技术目前存在以下 2 方面问题亟待解决。一方面,井下监控子系统监控点不丰富,子系统可靠性低,缺少链条故障诊断、振动采集、油液污染度检测等;另一方面,设备工况监控属于辅助功能,矿方和设备制造方的重视度不够,数据共享受到安全性和制度方面的制约。

### 4 结 语

重型刮板输送机成套装备智能化集中体现在变频调速软启动、链条张力自动控制、链条故障诊断、远程工况监测控制与诊断等先进技术的成熟应用。国产化一体变频电动机、分体变频中心将是国内厂家研发的重点,需解决过度依赖国外原装机芯、冷却效果不理想、可靠性、稳定性差等问题。将变频调速

软启动技术应用到成套设备上仍需研究谐波抑制技术,研制配套的变频控制系统。链条张力自动控制、链条故障诊断和远程工况监测控制与诊断技术是霍尔传感器、计算机、嵌入式系统、现场总线、以太网、互联网等技术的综合应用,从研究到实际应用,应结合煤矿现场情况,重点解决影响装置可靠性的各方面问题,如防爆、防砸、防水、防潮、防振、抗电磁干扰、现场布线不便等。当然,重型刮板输送机成套装备智能化技术不能局限于此,也应借鉴其他煤机装备或工业领域的先进技术,为提高成套装备自动化智能化水平,保障煤矿高效安全生产服务。

#### 参考文献:

- [1] 姜翎燕. 工作面刮板输送机技术现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(8): 102-106.
- [2] 罗庆吉, 石国祥. 综采工作面刮板输送机的现状和发展趋势[J]. 煤矿机电, 2000(5): 54-57.
- [3] 赵军. TTT 软启动技术在刮板输送机上的应用[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2006, 23(3): 75-76.
- [4] 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, 10(5): 92-93.
- [5] 牛旭原. 综采刮板输送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, 6(2): 75-77.
- [6] 汪爱明, 孟国营, 李国平, 等. 刮板输送机伸缩机电液控制系统的研制[J]. 煤炭工程, 2008(1): 88-90.
- [7] 卢立明, 蔡爱国. 一种刮板输送机的紧链装置, 中国: ZL201120525815.0 [P]. 2012-09-12.
- [8] 汪爱明, 李国平, 孟国营, 等. 一种边双链刮板输送机链条故障检测方法, 中国: ZL201310140198.9 [P]. 2013-09-11.
- [9] 禹芝根, 王会枝, 陈伟, 等. 刮板输送机链条监测装置, 中国: ZL 201220203900.2 [P]. 2012-04-30.
- [10] 汪爱明, 李国平, 李玉春, 等. 刮板输送机远程监测系统的设计[J]. 煤炭工程, 2013(7): 126-128.
- [11] 袁小宏, 李辛毅, 屈梁生. 基于因特网的设备远程诊断中心的设计[J]. 中国机械工程, 2002, 13(10): 874-876.
- [12] 张周锁, 李富才, 胥永刚, 等. 汽轮发电机组分布式在线监测与故障诊断网络系统的开发研究[J]. 动力工程, 2003, 23(3): 2310-2314.
- [13] 李太福, 陈渝光, 杨奕, 等. 基于互联网的远程状态监测与故障诊断系统研究[J]. 西南师范大学学报, 2002, 27(1): 26-28.
- [14] 赵冲冲, 廖明夫. 旋转机械状态监测与故障诊断的网络化实现[J]. 机械科学与技术, 2002, 21(2): 291-293.
- [15] 于林. 矿用重型刮板输送机断链故障监测传感器研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(11): 1934-1937.
- [3] 姚艳斌, 刘大猛, 黄文辉, 等. 两淮煤田煤储层孔-裂隙系统与煤层气产出性能研究[J]. 煤炭学报, 2006, 31(2): 163-168.
- [4] Solano - Acosta W, Mastalerz M, Schimmelmann A. Cleats and Their Relation to Geologic Lineaments and Coalbed Methane Potential in Pennsylvanian Coals in Indiana[J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 72(3): 197-208.
- [5] Liu D M, Yao Y B, Tang D Z et al. Coal Reservoir Characteristics and Coalbed Methane Resource Assessment in Huainan and Huabei Coalfields, Southern North China[J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 79(3): 97-112.
- [6] 傅雪海, 秦勇, 薛秀谦, 等. 煤储层孔-裂隙系统分形研究[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(3): 225-228.
- [7] Laxminarayana C, Crosdale P J. Role of Coal Type and Rank on Methane Sorption Characteristics of Bowen Basin, Australia Coals[J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40(4): 309-325.
- [8] 苏现波, 张丽萍, 林晓英. 煤阶对煤的吸附能力的影响[J]. 天然气工业, 2005, 25(1): 19-21.
- [9] 陈振宏, 王兵, 宋岩, 等. 不同煤阶煤层气吸附-解吸特征差异对比[J]. 天然气工业, 2008, 28(3): 30-33.
- [10] 秦勇, 傅雪海, 叶建平, 等. 中国煤储层岩石物理学因素控气特征及机理[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 14-19.
- [11] 杨起, 汤达祯. 华北煤变质作用对煤含气量和渗透率的影响[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3): 273-277.
- [12] 汤达祯, 王激流, 张君峰, 等. 鄂尔多斯东缘煤的二次生烃作用与煤层气的富集[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 140-145.
- [13] 刘洪林, 王红岩, 赵国梁, 等. 燕山期构造热事件对太原西山煤层气高产富集影响[J]. 天然气工业, 2005, 25(1): 29-32.
- [14] 桂宝林, 王朝栋. 滇东-黔西地区煤层气构造特征[J]. 云南地质, 2000, 19(4): 321-351.
- [15] 贵州省地质矿产局煤田地质研究队. 贵州晚二叠世煤田地质研究[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990.
- [16] 顾成亮. 滇东-黔西地区煤层气地质特征及远景评价[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(2): 106-111.
- [17] ХоДот В В. 煤与瓦斯突出[M]. 宋世钊, 王佑安, 译. 北京: 中国工业出版社, 1996: 27-30.

(上接第 129 页)