

doi: 10.11799/ce201906036

大功率高压变频刮板输送机成套装备及技术研究

姚 伟^{1,2}

(1. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083;

2. 国家能源集团宁夏煤业有限责任公司, 宁夏 银川 750011)

摘要: 为保障神华神东矿区千万吨级工作面安全高效生产, 研制了大功率高压变频刮板输送机成套装备。研发了大功率高压变频及控制技术, 解决重载软启动、多电机功率平衡和自动调速等问题; 创新了中部槽的材料及工艺, 提高了刮板输送机的强度、耐磨性、可靠性和使用寿命; 发明了蓄能恒压链条自动张紧装置, 减轻过渡板磨损, 延长链条使用寿命; 研发了远程在线监测诊断与控制技术, 实现变频刮板输送机智能化控制。工业应用表明设备运行平稳可靠, 经济社会效益显著。

关键词: 千万吨级工作面; 变频驱动; 刮板输送机成套装备

中图分类号: TD528⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-0959(2019)06-0165-04

Study on the Completed Equipment and Technique of High Power High Voltage Frequency Conversion Scraper Conveyor

YAO Wei^{1,2}

(1. School of Mechanical Electrical and Information Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Shenhua Ningxia Coal Industry Group Co., Ltd., Yinchuan 750011, China)

Abstract: In order to ensure the safe and efficient production of 10 million-tons coal face in Shenhua Shendong mining area, a complete set of equipment of high-power high-voltage frequency conversion scraper conveyor was developed. High-power and high-voltage frequency conversion and its control technology were proposed to solve the problems of heavy-load soft-startup, power balance for multi-motor driving and automatic Speed-regulating. The design, material and manufacturing process of the middle groove were innovated. Therefore, the strength, wear resistance, reliability and service life of the scraper conveyor were improved. The automatic tensioning device of the scraper chain has been invented to reduce the wear and improve the service life. The remote on-line monitoring diagnosis and control technology is developed to realize the intelligent control of the scraper conveyor. Industrial applications demonstrate that the operation of the completed equipment is stable and reliable and remarkable economic and social benefits are obtained.

Keywords: 10 million-ton coal face; frequency conversion drive; completed equipment of scraper conveyor

神华神东矿区年产量超过 2 亿 t, 生产规模大, 对装备的要求较高, 而从多年的现场使用情况看, 国产刮板输送机的强度、耐磨性、可靠性、使用寿命等各项性能指标都无法满足神东矿区大采高、超长、重型千万吨以上工作面的生产需要; 而进口刮板输送机设备虽然采用了 CST 或 TTT 等软启动技术^[1,2], 但重载启动性能依然不能满足千万吨以上工作面对装备的要求, 而且不能根据负荷实现自动调速和低速验链等功能^[3], 使用维护管理难度大, 维修成本高, 供货周期长, 造成了制约; 另外, 目前国内外刮板输送机都没有实现远程智能化控制^[4-7],

在运输系统的协调性、功率平衡、综合效能等方面也不能完全满足千万吨以上工作面要求。

针对这种情况, 从 2010 起通过全方位的技术、市场调研, 决定立项自主研发大功率高压变频刮板输送机成套装备, 为千万吨以上工作面的高产高效生产提供设备和技术保障。

1 系统介绍

该套大功率高压变频刮板输送机成套装备包括 1000/3×1000 变频三机(适用于综采工作面)和 900/2×1000 变频放顶煤三机(适用于放顶煤工作面), 由

收稿日期: 2018-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(U1361127); 中国矿业大学(北京)越琦杰出学者奖励计划(00180001521145)

作者简介: 姚 伟(1979—), 男, 江苏镇江人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为智能采掘装备, E-mail: 27039163@qq.com。

引用格式: 姚 伟. 大功率高压变频刮板输送机成套装备及技术研究 [J]. 煤炭工程, 2019, 51(6): 165-168.

刮板输送机、破碎机和转载机组成。

1.1 1000/3×1000 变频三机

1000/3×1000 变频三机包括：SGZ1000/3000 刮板机、PLM5000 轮式破碎机和 SZZ1350/500 转载机。

1) SGZ1000/3000 刮板机总装机功率 3000kW、电压 1140V、输送能力 3700t/h、链条规格 $\Phi 48\text{mm} \times 152\text{mm}$ 、链速 0~1.8m/s、刮板间距 912mm、中部槽规格 1750mm×1000mm×355mm、弯曲性能：水平 $\pm 1^\circ$ 、垂直 $\pm 3^\circ$ 、弯曲度长度 21m。

2) SZZ1350/500 转载机总装机功率 500kW、供电电压 1140V、输送能力 4000t/h、设计长度 29m、爬坡角度 6.5°、链条规格 $\Phi 36\text{mm} \times 126\text{mm}$ 、链速 0~2.2m/s、刮板间距 756mm、紧链伸缩行程 380mm。

3) PLM5000 轮式破碎机总装机功率 400kW、供电电压 3300V、输送能力 4875t/h、过煤高度 150~300mm、破碎物的单向抗压强度小于等于 100MPa、规格尺寸：4955mm×3655mm×1955mm。

1.2 900/2×1000 变频放顶煤三机

900/2×1000 变频放顶煤三机包括：SGZ900/2×1000 刮板机、SGZ1000/2000 刮板机、SZZ1350/700 转载机、PLM5000A 破碎机。

1) SGZ900/2×1000 刮板机总装机功率 2000kW、电压 1140V、输送能力 1800t/h、链条规格 $\Phi 48\text{mm} \times 152\text{mm}$ 、链速 0~1.87m/s、中部槽规格 1750mm×900mm×350mm、弯曲性能：水平 $\pm 1^\circ$ 垂直 $\pm 3^\circ$ 、刮板间距 912mm。

2) SGZ1000/2000 刮板机装机功率 2000kW、电压 1140V、输送能力 2500t/h、链条规格 $\phi 48 \times 152\text{mm}$ 、链速 0~1.87m/s、中部槽规格 1750×1000×370mm、刮板间距 912mm、弯曲性能：水平 $\pm 1^\circ$ 垂直 $\pm 3^\circ$ 。

3) SZZ1350/700 转载机总装机功率 700kW、供电电压 3300V、输送能力 4000t/h、设计长度 43m、紧链伸缩行程 380mm、链条规格 $\Phi 38 \times 126\text{mm}$ 、刮板间距 756mm、链速 0~2.1m/s、爬坡角度 7°。

4) PLM5000A 破碎机总装机功率 700kW、供电电压 3300V、输送能力 5000t/h、过煤高度 150~300mm、破碎物的单向抗压强度小于等于 100MPa、规格尺寸 4941mm×3730mm×2215mm。

刮板机采用变频电机驱动+机头双传动+机尾单传动+交叉侧卸机头+液压锁伸缩机尾的结构，转载

机采用变频电动机+液力偶合器+减速器+链轮组件的结构。刮板输送机和转载机的驱动装置均采用变频电机，需突破大功率高压变频及控制、关键部件设计材料及工艺技术、设备远程智能化控制、刮板链自动张紧等多项关键技术。①大功率高压变频及控制技术：将变频技术应用到煤矿大功率刮板输送机，解决重载软启动、多电机功率平衡和自动调速等问题，抑制变频器谐波对电网和电气设备的干扰；②关键部件设计材料及工艺技术：对整机和关键部件进行一体化设计；开发刮板机槽帮材料，提高耐磨性；研究合金铸件与高强度耐磨板焊接及热处理工艺；③远程智能化控制技术：研究协调控制、功率平衡技术，开发自动张紧系统，研发远程在线工况监测、诊断和智能化控制平台。

2 关键技术

2.1 变频一体电机及控制技术

采用变频技术作为刮板输送机成套设备的驱动部能够实现满载条件下软启动、多电机的功率平衡和随负荷的变化及时调整链条运行速度，有效降低能耗，提高设备使用寿命。

2.1.1 重载软启动

工作面刮板输送机启动时，负载重、阻力大，导致压刮板输送机。为了实现重载软启动，选用了低速硬特性(大扭矩)、大过载系数的变频调速一体电机，该电机能够输出启动转矩约为 2.3 倍额定转矩，在平稳运行时，又能够有较大的过载倍数(2.2 倍，60s)。

2.1.2 多电机功率平衡

多电机功率不平衡会造成电机过载，损坏或烧毁电机，普通隔爆型三相异步电动机的刮板运输机全压启动，很难保证多台电动机输出功率一致，而且即使负载量很少，也以高速运行，增加了设备磨损量，消耗了不必要电能。

研发了由一台数据中心、一台主控机，一台通信主站和控制保护单元组成的变频电机控制系统。控制保护单元计算 IGBT 导通角，给出 IGBT 开通、关断指令，同时实时监测变频电机状态，IGBT 状态，电机驱动器电流和电容电压，电机速度，电机绕组 1、2 温度，电机轴承 A、B 温度，电机冷却板温度，电抗器温度和 PTC 温度，保护电机；具有 BB22444 标准的串口接口和 Modbus RTU 通信协议，控制保护单元作为从机接入通信主站；主控机通过 RS458 接口，Modbus 协议从开关读取三机电流，同

时给通信主站发送控制指令；数据中心能够与通信主站，读取变频电机元部件温度、状态位等参数，能够与主控机实时通信，共享数据，同时负责将数据上传工业以太网。通信主站实时监测各个变频一体电动机的有功电流，一旦各个有功电流不一样，根据基于一主两从的控制策略，向电机控制单元发送控制指令，调整有功电流，使各个电动机的有功功率尽量保持一致，实现多台电机之间的功率平衡。

2.1.3 自动调速

刮板输送机的电流值大到一定程度，说明刮板链条上的负载很大，就需要链条快速的运转，尽快拉煤；当电流小到设定值，说明刮板链条的负载不大，可以降低速度，降低磨损，节约电能。主控机实时读取组合开关上刮板机电流，根据实际值电流和各设定电流值之间的关系，计算合理的运行速度，并将给定速度发送给通信主站，通信主站发送控制指令给电机控制单元，实现刮板输送机自动调速控制。

2.1.4 抑制谐波干扰

在一般的变频系统中，由于连接变频器与电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而产生衰减振荡，造成传送到电机输入端的驱动电压加倍（即过电压现象），从而给电机绕组造成极大的冲击力，造成电机损坏；同时电能通过电缆输送给电动机，电缆输出的电力成为了干扰源，对供电系统、负载电机及其他邻近电气设备产生干扰，尤其对于防干扰要求比较高的高精度仪表、计算机控制系统等谐波干扰问题尤为突出。此外，半导体开关器件通断和控制电路以及PWM信号自身会对电力系统和周围电器设备产生严重的电磁干扰。为了抑制谐波干扰，集成应用了以下三种方法：

1) 高频干扰(>30MHz)存在于变频器和电动机分离式的模式中，变频电机的变频器和电机一体化封装，降低了高次谐波干扰。

2) 在变频器内置大电容、输入侧接有LC型谐波滤波器，有效抑制谐波。

3) 使用有30°相位差的并且尽可能的保持负载平衡的2台移动变压器来供电，消除低频干扰对整个电网的冲击。

2.2 整体铸焊封底式中部槽技术

整体铸焊结构的中部槽已成为长运距、大功率、高可靠性采煤工作面刮板输送机的典型结构。然而，

国产中部槽过煤量相同时磨损较国外的更严重，槽帮中板、底板的焊缝更容易开裂，为了提高中部槽整体质量，在吸收国外技术和借鉴国内同行经验的基础上，进行了材料、工艺、质量检验等技术攻关，形成了一套完善的中部槽设计、制造和质量检验方法。

1) 材料。在美国JOY槽帮的基础上，通过增加和调整稀土元素、合金元素的含量，使得铸造槽帮的屈服强度达755MPa、抗拉强度达900MPa、断后伸长率达19.3%、冲击韧性达81J/cm²、硬度达HB270~310，整体铸造的中部槽槽帮达到mss-013标准，高于美国JOY产品的mss-012标准。此外，中板和封底板选用了HARDOX450-500的瑞典进口高强度耐磨板，中板厚40mm，底板厚30mm，提高了中部槽的可靠性和使用寿命。槽帮、中板和底板母材的强度级别提高了，但焊接接头强韧性不高容易导致的槽帮、底板焊缝开裂和脱落等问题，采用理论分析和试验相结合的方法，选用高强韧性低氢焊丝作为新焊材，提高了中部槽焊缝质量。

2) 工艺。根据耐磨板具有较高的碳当量的特性，改进了焊接工艺。该焊接工艺具体为：组对槽帮与中板时，中板正面焊缝对接处应均匀点焊；整体焊前预热，控制炉温并保温一段时间，出炉后应迅速开始焊接；先焊接中板背面，手工打底焊，随后清根，用自动焊机进行多层多道施焊；翻转槽体再焊接中板正面，焊前将前期小钢筋棍打磨清理掉，同样用自动焊机进行多层多道施焊；焊接中板背面余下的焊缝，焊接底板；整体焊好后，进炉保温一段时间，然后随炉缓冷。同时，为了保证焊接过程的准确性和一致性，采用机器人自动焊接槽帮和中板、底板、销轨座，保证了每节中部槽的都是高质量，也降低了工人的劳动强度。基于该工艺的中部槽在神东集团的哈拉沟、万利、榆家梁、布尔台、保德、活鸡兔、锦界矿等批量累计达4000多节，中板200万t磨损不超过1mm，使用寿命(过煤量)达3000万t。

3) 质量检测。为了保证中部槽套套是精品，采用了由磁粉探伤仪、多功能磁粉探伤平台、超声波探伤仪、全磁探伤仪、全数字智能超声波探伤仪等组成的质量检验系统，通过表面着色、磁粉探伤，材料内部超声波、X射线探伤，逐一检验中部槽焊缝和铸件。焊缝外观质量标准按照GB50221-95检查，铸件内部质量控制参照BSEN12681-2003标准。

应用高规格的质量检测系统,执行严格的产品标准,保证了中部槽质量,提高了样机可靠性。

2.3 刮板链自动张紧技术

刮板链条的张紧程度直接影响刮板输送机的运行状态和使用性能,过紧会增加链条的磨损和功率损耗,过松会发生堆链现象以及影响它与链轮的啮合,导致跳链、断链事故的发生,为此,项目研制了一种自动恒压紧链装置,通过对蓄能器压力数据的采集处理,动态控制蓄能器的压力,使刮板链在预定的张紧力下平稳运行。

首先据链条预紧力计算储能器压力设定值(如链条预紧力需 267kN, $P \times 3.14 \times 0.15 \times 0.15 = 267\text{kN}$, $P = 3.8\text{MPa}$)。若工作过程中伸缩油缸压力值低于储能器设定值(如 3.8MPa),则储能器给油缸供液,保证链条处于恒定预紧状态,若储能器压力值低于 3.5MPa,则由储能器压力传感器发送压力信号给控制器,控制器发出指令打开电液阀,由系统供液给储能器,直到压力达到 3.8MPa 为止。工作过程中可设液压缸安全阀压力值为 42MPa,若工作过程中液压缸压力突然增加而导致安全阀打开(这时可能发生卡链、断链等情况),同时伸缩油缸压力传感器将信号反馈给 PLC 控制器,控制器据信号情况发出报警或急停指令。

2.4 远程在线监测诊断与控制技术

为了随时掌握成套设备运行状态,项目研发了一种远程在线监测、诊断和控制系统。该系统由井下监控系统、井上监控系统和神华集团监控系统。该系统能够实时监测设备温度、压力等低频工况参数,高频振动参数以及视频。

井下监控系统在工作巷集控室设有控制中心,可以控制三机启停,同时监测设备的低频工况参数、振动以及视频,通过井下工业以太网上传至地面调度室。

为了保证井上监控系统的可靠性,对系统进行了冗余设计,采用了两台数据服务器。通过井上监控系统,在调度室就能实时掌握设备的运行状态,同时将设备运行信息通过互联网发送到神华集团监控系统的服务器上。在神华集团监控中心,可以对成套刮板输送设备的运行状态实施远程在线实时监测、故障诊断。通过该中心,煤机厂家可以主动掌握销售出的任何一台成套刮板输送设备的运行信息,利用这些信息,可以为矿方提供更好的服务(及时准备易损件、技术服务),提高企业核心竞争力。通过

中心,可以邀请行业专家对设备健康状况进行会诊,及时反馈给矿方和煤机厂家,保证设备在井下正常工作,保障煤矿安全高效生产。

3 效益分析

已经在神东矿区推广应用达 10 台(套),由于使用了变频技术,大幅度降低了用户的生产成本。按变频器保守节能 15% 计算,SGZ1000/3×1000 交流变频刮板输送机成套设备,年节约电能为 3120750kW·h,年节省电费 240 万元;而 SGZ900/2×1000 变频放顶煤刮板输送机成套设备每套设备的年运行电力消耗可节省电费 312 万元。变频三机不仅节约电能,还可以实现各驱动部的功率平衡,可大幅度减轻启动时链条与链轮之间的冲击,并能延长链条、链轮以及中部槽的使用寿命,大大减少三机设备的维修保养费用,设备折旧年限延长,折旧费用平均可下降 30%,约 300 万元。变频三级改变了高端煤机装备长期依赖进口的局面,可以替代进口,大幅度降低了国内煤炭生产企业生产成本,减少了能耗。

4 结语

SGZ1000/3×1000 交流变频刮板输送机成套设备和 SGZ900/2×1000 变频放顶煤刮板输送机成套设备应用了多项先进技术可靠性高、数字化智能化程度深,提高了设备开机率,降低了维护成本,减轻了采煤工、维修工以及设备商技术服务人的劳动强度,保障了工作面安全高效生产。

参考文献:

- [1] 李洪先,史之印,李雷,等.变频调速一体机在刮板输送机中的应用[J].煤炭技术,2015,34(3):268-270.
- [2] 黄开林.高压变频技术在刮板输送机上的应用研究[J].煤炭科学技术,2014,42(2):68-72+97.
- [3] 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.
- [4] 李伟,程晓涵,汪爱明,等.大型矿山机电设备远程健康诊断系统的研究进展[J].煤炭工程,2014,46(5):139-142.
- [5] 陈涛.综采工作面刮板输送机防爆变频智能控制系统的应用[J].煤矿机电,2017(6):45-47.
- [6] 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,2013,45(7):126-128.
- [7] 高小强,杜福银,蔡爱国.变频驱动刮板输送机负载特性及调速的智能控制策略研究[J].矿山机械,2011,39(11):12-16.

(责任编辑 赵巧芝)