



## 汇川技术 CM3000 高压变频器在刮板机上的应用

（作者：苏州市汇川技术有限公司，所在区域：内蒙古，应用领域：煤矿）

*Suzhou inovance technology co., LTD*

**关键词：**煤矿、刮板机、综采，磁链闭环、下垂控制。

**【概述】**长期以来，煤矿由于受复杂的生产条件和环境影响，加之今年煤矿行业的市场萎缩，如何以技术进步和技术创新为先导，降低企业的生产成本，提高劳动生产率是煤炭生产企业需要解决的迫切课题。

煤炭刮板机是煤矿的四大主要设备之一胶带输送机系统的一部分（四大件即：空气压缩机、主排水泵、主通风机、钢丝绳牵引或胶带输送机）。神华集团包头某煤矿，矿区面积 67.5453 平方公里，矿井开采深度由 1480 米至 940 米，年产 600 万吨。由于原刮板机液力耦合器传动系统陈旧及维护启动繁琐，今采用汇川技术 CM3000 三合一变频器进行改造（此刮板机有三个驱动电机），拆除原液力耦合器系统，改造后使得系统操作简便，几乎免维护，提高了系统效率及电网功率因数且有一定节能效果，同时达到软起和无极调速的目的，避免了直接启动对电动机及刮板链的应力，防止其断裂。

### 一、设备工况介绍

刮板输送机的运输能力不受货载的块度和湿度影响，机身高度小，便于装载，机身伸长或缩短方便，移置容易，机体坚固，能用于爆破装煤的工作面，也能与采煤机和自移式液压支架组成综采工作面。因此在煤矿井下采掘工作面及机风巷中得到广泛应用，成为矿井煤炭运输环节中必不可少的主要运输设备。刮板输送机能否正常运转，直接影响工作面的生产能力和进度，对提高产量，具有极为重要的现实意义。

#### 1、刮板机的运行原理

刮板输送机由机头部（包括电动机、传动装置、链轮组件等）、机身部溜槽（包括中部槽、调节槽、连接槽）、刮板、链条、机尾部、以及装于溜槽两侧的附属装置（包括挡煤板、铲煤板、电缆槽）等组成，如下图 1。

刮板输送机是一种链传动输送机械，电动机将电能转换为机械能，带动主动链轮、

---

改向链轮及链条实现环形运转，将装在溜槽中的煤运到机头处卸下。传动过程中，链条在主动链轮和改向链轮上围包形成多边形，主动链轮匀速运行时，链条和改向链轮呈周期性变化，因此运行中存在周期波动及冲击负荷，传输速度较低。

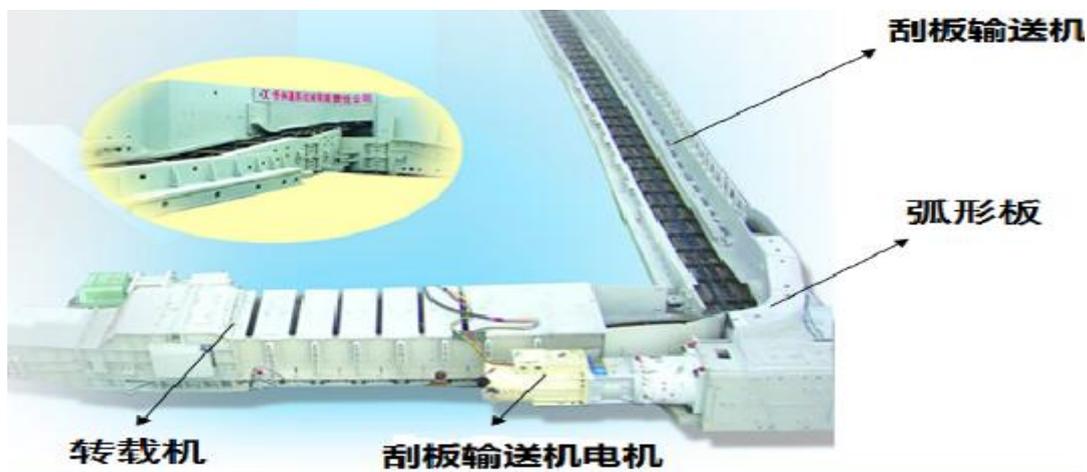


图 1、刮板机输送机系统图

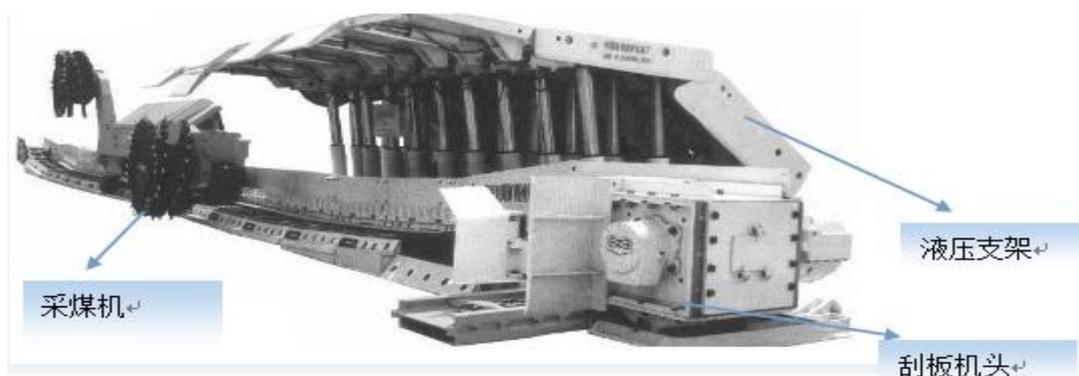


图 2、综采系统图

## 2、刮板机的原启动方式

煤矿现场刮板机为中煤张家口煤矿机械有限公司中双链式三驱刮板机，型号为 SGZ1250/3000，驱动电机为 3\*1000KW，机头两电机一台平行样刮板机摆放，一台垂直刮板机摆放，机尾一台电机平行刮板机摆放。变频器到机头的动力电缆长度为 300m\*（3\*95mm），到机尾的动力电缆长度为 580m\*（3\*95mm）。

刮板输送机多存在重载启动，启动过程中冲击载荷对链条及链轮均造成较大的应力作用，易造成设备启动困难，常引起断链及影响同线路其他设备正常运行等事故的发生。为此刮板输送机的启动技术从传统的直接启动发展到软启动技术。

### ▲ 原刮板机启动方式：

采用德国福伊特阀控充液式液力耦合器（TTT）启动调速。

▲ TTT 驱动原理：

阀控双腔调速型液力耦合器电动机带动耦合器内的泵轮转动，从而带动内腔的水旋转，旋转的水推动透平轮转动，从而输出转速与转矩。当耦合器内无液体时，透平轮不旋转，输出转速为零。当耦合器中的液体达到额定充液量时，输出额定的转速与转矩。不同的充液量则会产生不同的输出转速与转矩，由此实现软起动，属于液力传动软起动器。启动时，控制注水电磁阀加水。运行时，监测液体温度，控制液位，由于受冷却系统的限制，不能长期低速运行。

▲ TTT 驱动优点：

- 能在空载时顺利启动电机
- 启动转矩从零平稳增加到启动力矩
- 工作中驱动负荷基本平衡
- 具有智能控制，可实现链条张紧及慢速之类的特殊模式

▲ 驱动结构：

电动机-TTT-减速器-驱动链轮

▲ 原驱动结构存在的问题：

- 重载时启动电流大，启动转矩较小
- 电动机及链条承受较大的启动应力
- 对供水水质水压要求严格，维护成本高
- 原液耦维护操作繁琐，效率低，功率因数低
- 故障率高，通过现场采集监测，原 TTT 系统每 30 分钟左右要停机维护一次，严重影响生产的效率

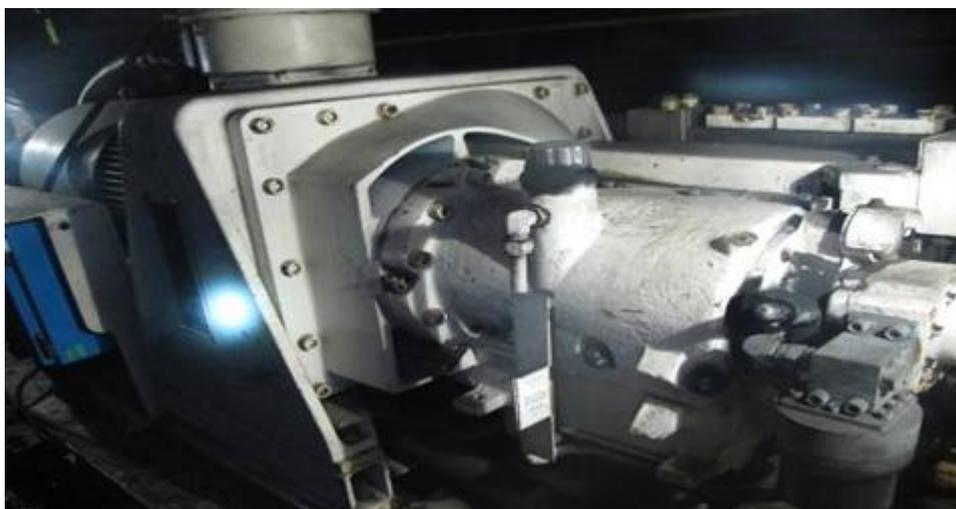


图 3 原液耦驱动结构现场图



系统相关参数：

刮板机参数			
刮板机型号	SGZ1250/3000	驱动电机数	3 驱
传输长度	300m	链条方式	中双链刮板机
电机参数			
电机型号	YBSS2-1000	电机接法	Y
电机额定功率	1000 kW	电机额定电压	3.3kV
电机额定电流	197.6A	电机额定频率	50Hz
额定转速	1494r/min	防护等级	IP55
阀控调速型液力耦合器（TTT）			
型号	562DTPKWL2-800	传递功率	1000KW
输入转速	1490rpm	额定滑差	5.5%
流体轴向力	启动：≤±5420N； 额定：≤±570N	供水压力	最小：4bar 最大：12bar
充液时间	20s	工作液	水
厂家	德国福伊特		

## 二、刮板机现场工艺介绍

刮板输送机是综合机械化采煤工作面的主要运输设备，它的作用一是把采煤机破碎下来的煤运到顺槽转载机；二是作为采煤机行走的轨道以及液压支架前移的支点。

刮板机的工艺要求：

- 要求大启动转矩及重载启动能力
- 较强的过载能力及负载突变能力
- 三驱动电动机要求功率平衡
- 启动时机尾先启动，隔 1~3 秒再启动机头
- 可实现一机头一机尾及一机头两机尾组合运行控制

- 要求单机手动控制及联机自动控制

煤矿 31111 工作面刮板输送机机头两个驱动电机，机尾一个驱动电机，采煤机刮下的煤矿落到刮板机，然后通过转载机经破碎机送到运输皮带机运出矿井。现场运输皮带机的运输速度为 3.15m/s, 带宽 1.2m, 输煤量为 1000t/h, 皮带总长度 2500m。设备布局如图 3:

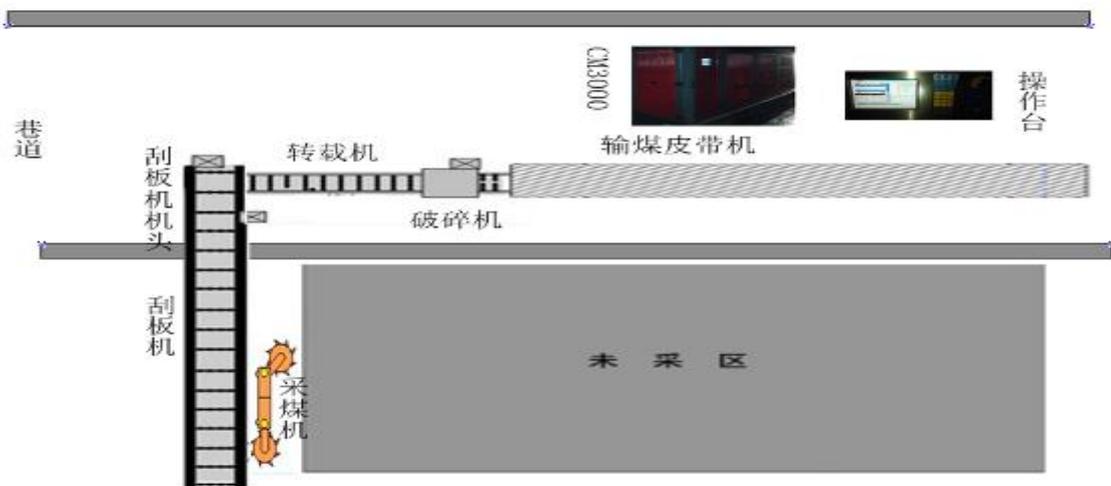


图 4 设备现场布局图

### 三、高压变频驱动方案

#### 1、改造内容

取消原有液力耦合器系统，增加我司的一套三合一矿用防爆变频器 CM3000-DT1250G-WSD 型高压变频器及一套变频器外循环水冷系统，变频器由含组合开关的干式移相变分别给组合变频器供电（移相变为 10000/3300），一次系统图如图 5。

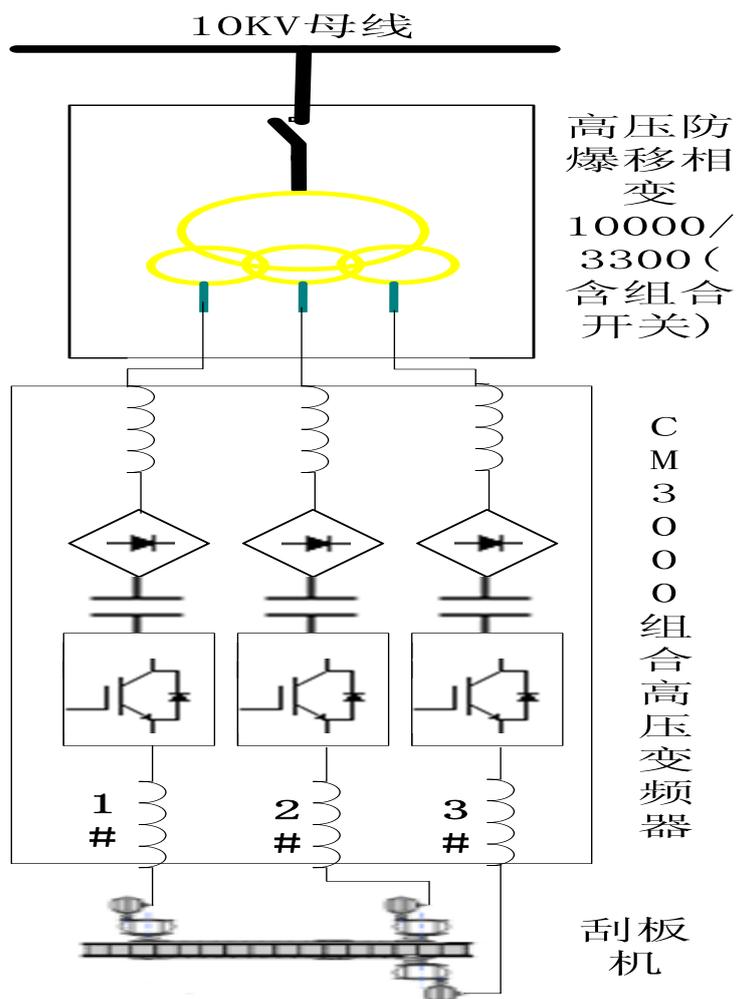


图 5 一次系统图

用户的后台操作系统仍为原系统，操作台 PLC 与变频器之间采用硬线连接方式，提供给变频器启停命令、综采系统故障停机命令等，反馈信号有刮板机运行信号、刮板机停止信号等，通过 4~20mA 模拟量信号调速，驱动电机在 0~50Hz 范围内运行。具体接口信息如下图所示：

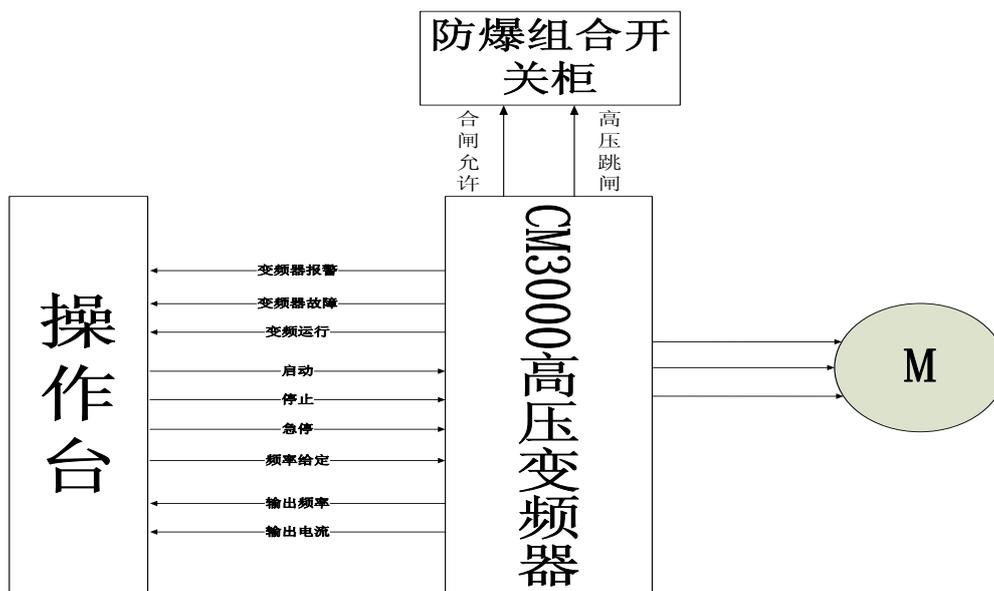


图 6 后台端口通信图

变频器采用两线式控制模式 1，通过 DI4、DI5 两个端口分别控制变频器正转、反转，频率给定采用 4~20mA 模拟量信号，对应变频器输出频率 0~50Hz；

与高压开关柜联锁信号：

序号	名称	性质	说明	备注
1	合闸允许	DO 开关量	允许用户合高压电源， 闭合有效	独立无源干接点
2	高压跳闸	DO 开关量	跳开用户高压电源， 闭合有效	独立无源干接点

变频器 DO 信号：

序号	名称	性质	说明	备注
3	变频器报警	DO 开关量	轻故障，变频器停机	独立无源干接点
4	变频器故障	DO 开关量	重故障，停机并联跳高压	独立无源干接点
5	变频运行	DO 开关量	变频器处于运行中	独立无源干接点

以上输出信号默认为闭合有效，容量大小为 250V AC 5A。

变频器 DI 信号：

序号	名称	性质	说明	备注
1	启动	DI 开关量	运行指令	独立无源干接点



2	停止	DI开关量	停止指令	独立无源干接点
3	急停	DI开关量	急停指令	独立无源常闭干接点

以上输入信号除急停是常闭点外其他均默认为常开接点，闭合有效；

变频器 AI 信号：

序号	名称	性质	说明	备注
1	频率给定	AI((4~20mA)	对应频率给定 0~50Hz	模拟信号
2	备用	AI(4~20mA)	备用	模拟信号

变频器 AO 信号：

序号	名称	性质	说明	备注
1	频率反馈	AO(4~20mA)	对应变频器输出频率 0~50Hz	模拟信号
2	电流反馈	AO(4~20mA)	对应 0~2 倍的电机额定电流	模拟信号
3	备用	AO(4~20mA)	备用	模拟信号

注：如果有特殊接口需求，可提前与汇川公司联系，进行定制

## 2、系统操作流程为

先启动皮带机及转载机，启动外循环水冷系统，给 CM3000 变频器上高压电，变频器备妥后给启动命令启动刮板机，根据现场工艺要求，先启动刮板机机尾电机，2s 后启动机头 2#电机，3s 后启动机头 3#电机，刮板机速达到要工艺要求后，启动采煤机开始采煤，综采系统正常工作，停机时与启动顺序相反。由于矿井下的环境恶劣，湿度和粉尘很大，因此 CM3000 变频器的控制电不允许掉电，系统控制图如下：

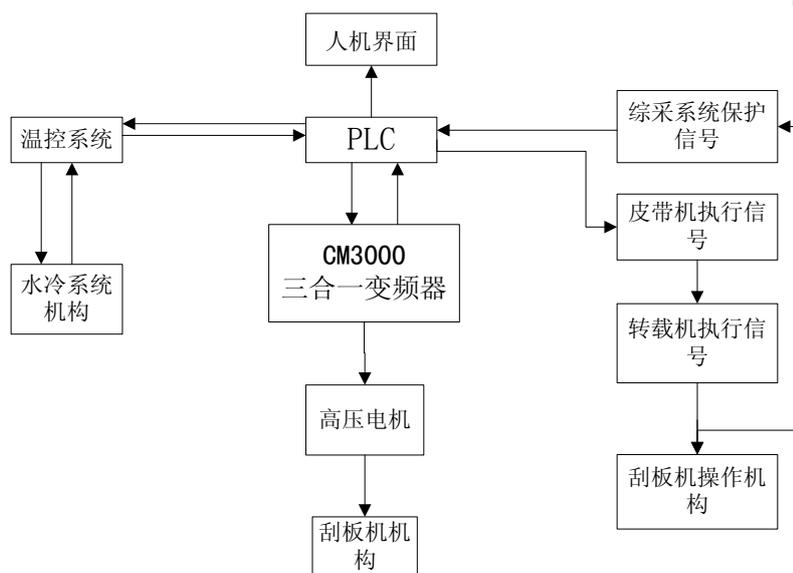


图 7 控制框图

### 3、变频改造后的运行效果

- 启动电流小，轻载情况下 1/3 额定电流，启动过程对电网无任何冲击
- 大启动转矩，能重载启动，且具备 2 倍/分钟过载能力/10 分钟
- 各驱动电机功率自平衡功能，使各电机等同出力工作
- 通过参数设置，根据工艺要求，可灵活的进行电机的启动时序控制
- 运行稳定，操作简单，基本无需维护，解决了原液耦系统的高故障率

## 四、汇川技术高压变频方案优势

### 1、先进的异步电机磁链闭环矢量控制算法

汇川技术 CM3000 系列高压变频器具备独有的磁链闭环矢量控制技术，基于电机 d-q 轴数学方程式解析，通过对电机的磁链、电流进行解耦，完成对磁链、电流闭环控制。从矢量控制最基层的角度全面掌握电机运行曲线，实现了对电机的磁链闭环矢量控制。控制算法框图如下：

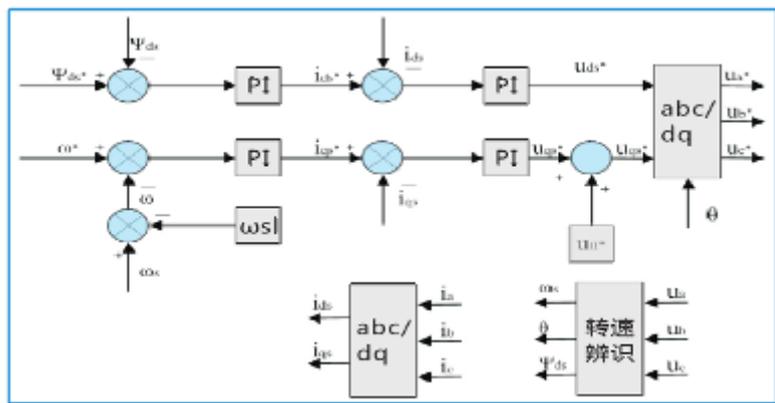


图 8 矢量控制算法框图

这种矢量控制算法在保持较高动态性能的基础上，克服了转子电阻、电感参数对调速系统性能的影响。对电机转速控制精度高，加速时电流环响应快，低频运行时转矩响应可达 750rad/s，并且能够实现更高的节电效率。磁链闭环矢量控制算法解决了挤出机启动转矩大，加速大电流，稳速精度高等高要求，保证了产线可靠运行。

## 2、整机三电平技术及先进的中点电位平衡控制技术

汇川技术 CM3000 变频器利用二极管中性点箝位的拓扑结构，使得每相输出具有三个电平。通过检测直流母线及中点的电压进行实时调整，保证中点电位平衡。从而达到控制精度好，响应速度快，输出波形效果好，功率密度高等效果。

根据矿井下空间有限的环境特性，CM3000 变频器采用紧凑结构设计，体积小。为了满足 EMC 的要求，变频器输入侧采用多脉冲整流，对外围设备无干扰，输出电缆长度可达 1500m；整机采用一体化接地系统，直接与专们设计的防爆壳链接，有效避免了外界对变频器及变频器对外围设备的电磁干扰。完全满足 EMC 的要求。中点钳位技术的波形如图 9：

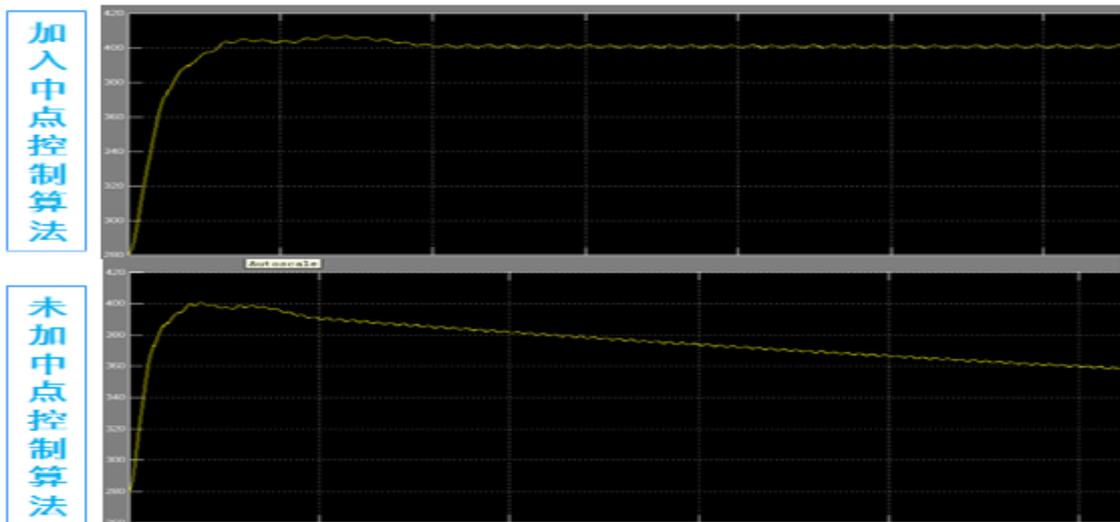


图 9 中点钳位技术效果图

### 3、下垂控制功能

汇川技术 CM3000 系列高压变频器具备功率自平衡的下垂控制功能。对于多驱动的刮板机而言，各驱动电机的功率平衡直接影响刮板机的稳定运转及驱动电机的寿命，汇川技术 CM3000 高压变频器的下垂控制功能，根据各驱动电机的实时运行状态，自动动态调节各驱动电机的转速及电流，从而达到各驱动电机的功率平衡，使得负载稳定运行。现场调测时的输出波形监视图如下：

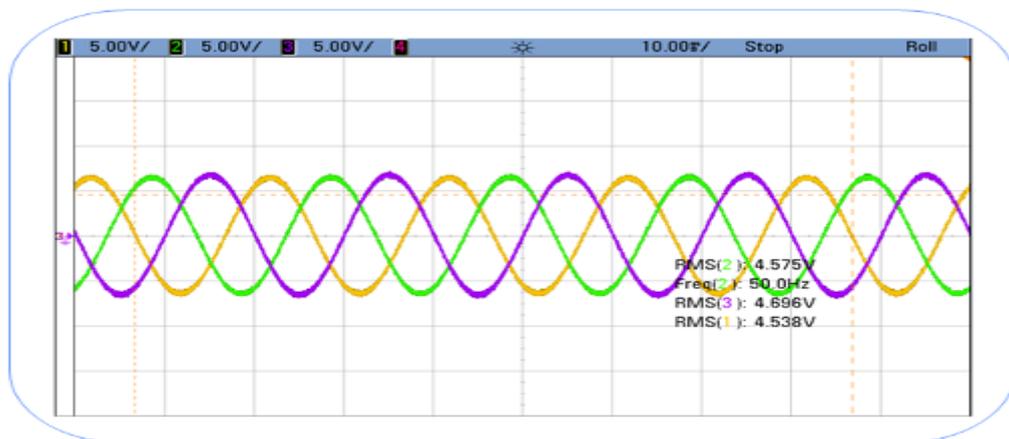
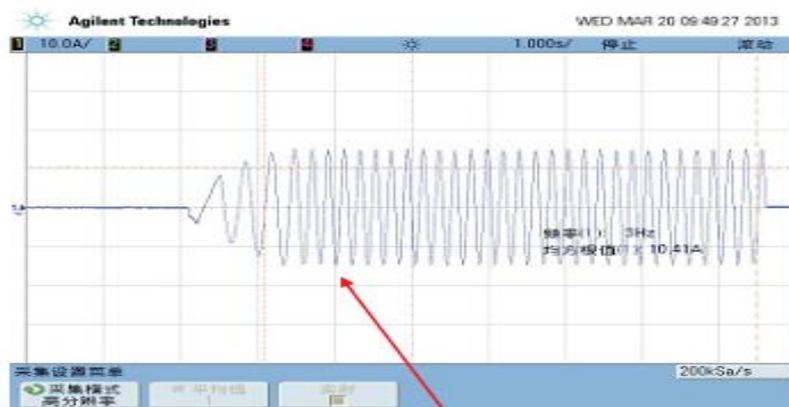


图 10 现场三驱电机输出波形图

### 4、大启动转矩功能

汇川技术 CM3000 系列高压变频器具大启动转矩功能。150%/0.5HZ(开环转矩控制)启动转矩；180%/0HZ(闭环转矩控制)启动转矩，当系统意外停机后，通过大转矩的启动力矩，实现重载启动，完全解决了原驱动系统启动电流大，重载难启动等

一系列问题。并且 CM3000 变频器具有 2 倍/分钟的过载能力，10 分钟每次。启动的输出波形监视图如下：



启动过程满载输出

图 11 启动输出波形图

## 5、完善的水速冷系统

变频器水冷系统包括 CM3000 的内水冷系统和变频器外循环系统，冷却流程如下：内循环去离子水流经整流部分及逆变 IGBT 部分的散热器，带走开关器件的热量，再通过水-水热交换方式与外部冷却水实现热交换，外部冷却水通过水泵驱动经水-风换热器实现热交换，最终将 CM3000 防爆变频机芯壳体内部热量传递到外部环境中。内部去离子冷却水设有温度、压力、离子浓度与去离子水量保护功能。外部冷却水设有温度、压力与液位保护功能，速冷系统图如图 11、12 所示。



图 12 内水冷系统结构图

## 五、现场应用图片



图 13 变频器现场应用图



图 14 变频器外水冷系统图



图 15 CM3000 变频器干式移相变电源图



图 16 现场采煤机图



图 17 刮板机图



图 18 场操作监控平台图



图 19 场监控数据图

## 六、结束语

近年来，煤矿行业的市场由于国家发展的转型而不断萎缩，如何以技术进步和技术创新为先导，降低企业的生产成本，提高劳动生产率是煤炭生产企业需要解决的迫切课题，同时也是国家对企业考虑的硬性标准。此次汇川技术 CM3000 系列高压变频器成功应用在矿用刮板机上，也是汇川技术在不断开拓新工艺点，推广市场工艺型变频设备征途的一个缩影。与此同时，作为国内高压变频行业在矿用刮板机应用上第一个吃螃蟹的厂家，这次成功应用也证明了汇川技术 CM3000 系列产品的高性能与高可靠性。

汇川技术依托多年的自动化行业的应用经验，对煤矿行业的变频改造具有独到的方案解决能力，之前推出的 HD9X 系列皮带机及矿井提升机专用高压变频器也得到了客户的一致好评。汇川技术有限公司生产的高压变频器为采用矢量控制技术的高性能变频器，产品适用于冶金、电力、化工、市政、橡胶等多个应用领域，公司一直本着以用户的实际需求来创造产品，给用户提供的最佳的控制方案为宗旨，在各行业得到用户的一致认可！