

合康高压变频器 HIVERT-Y(T)Vf 矿井提升机高压变频器

HIVERT-Y(T)Vf 矿井提升机高压变频器.....	1
产品构成.....	2
原理.....	6
特性.....	7
技术参数.....	10
规格型号.....	12
应用领域.....	13
案例.....	14

产品构成



启动柜

当变频器适配电机功率 $\geq 1800\text{kW}$ 时，系统增配启动柜。启动柜可以有效抑制变压器上电瞬间的激磁涌流，防止引起上级电源柜速断保护装置动作，还可以为单元直流电容预充电。

启动柜中配置启动电阻，可降低上电产生的冲击电流。不同容量变频器启动电阻阻值及功率有所不同，预充电后，按照设定程序，通过真空接触器短接电阻。

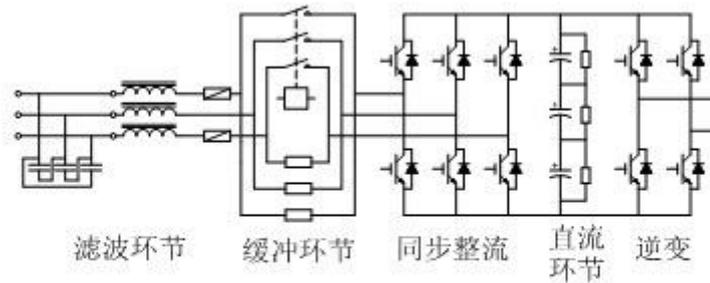
变压器

隔离变压器为干式变压器，采用强迫风冷：原边为星形接法，与进线高压直接相连或通过启动柜相连；副边绕组为延边三角形接法，绕组间有固定的相位差，通过电抗器为功率单元提供电源。

变压器配有温控仪，控制系统通过温控仪实时监控变压器绕组温度：当变压器绕组温度较高时，系统发出轻故障报警并开启变压器底部风机；当温度超过报警或跳闸设定值时，系统发出轻故障报警或跳闸信号。

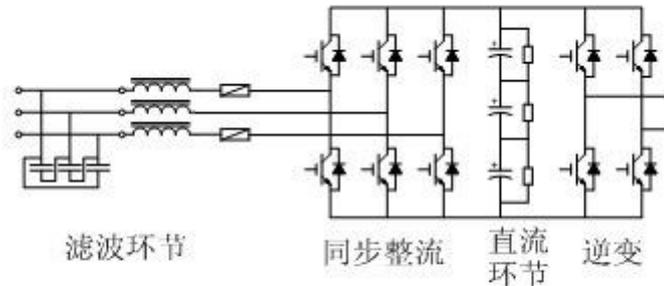
功率单元

功率单元输入端与电抗器相连后接变压器二次线圈的三相低压输出。当变频器适配电机功率小于1800kW时，功率单元增加缓冲环节，用以单元预充电限流及保护输入侧 IGBT。



1800kW 以下功率单元及电抗器主回路

当变频器适配电机功率超过或等于1800kW时，取消单元缓冲环节，由启动柜实现单元预充电限流及保护输入侧 IGBT 功能，因此功率单元与电抗器直接相连。



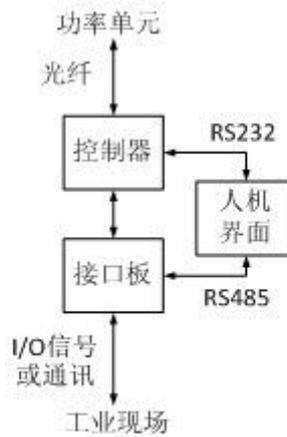
1800kW 及以上功率单元及电抗器主回路

HIVERT-Y(T)VF 系列产品理论具备100%额定功率的能量回馈能力。功率单元利用IGBT进行同步整流：同步整流控制器实时检测单元输入电压幅值及相位，通过控制整流侧IGBT所产生的电压与单元输入电压的相位差，从而控制电功率在电网与功率单元之间的流向——单元电压相位超前，功率单元将电能回馈给电网，反之电功率由电网注入功率单元。

电功率的大小及流向由单元电压决定。就同步整流而言，整流侧相当于一个稳压电源，相位差偏差通过矢量控制算法、PID 调节生成。

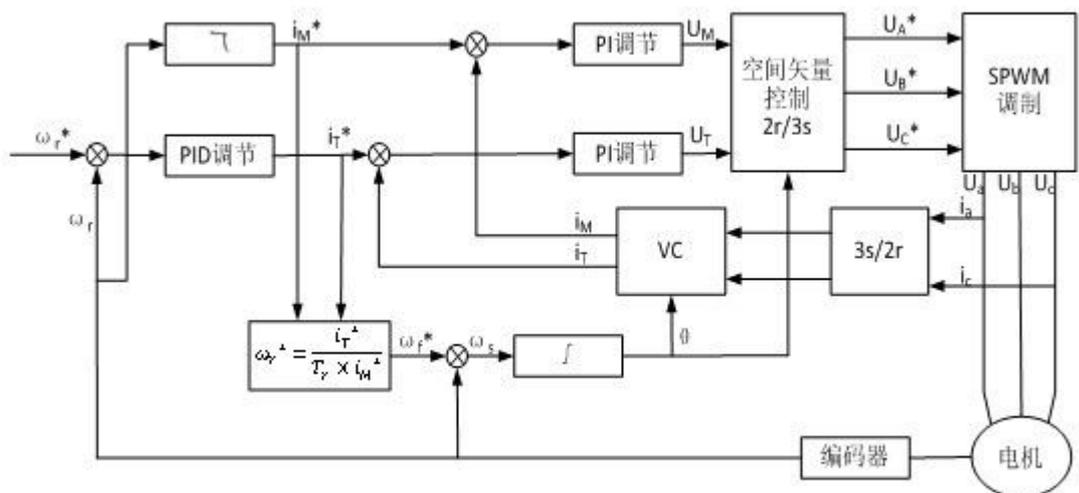
控制系统

控制系统由控制器、接口板和人机界面（包括柜门按钮等）组成。



控制系统组成

HIVERT-YVF 系列变频器采用转子带速度反馈的矢量控制技术。在转子磁场定位坐标下，电机定子电流分解成励磁电流与转矩电流。维持励磁电流不变，控制转矩电流也就控制了电机转矩。电机转速采用闭环控制。实际运行中给定转速与实际转速的差值通过 PID 调节生成转矩电流 i_T^* 。经过矢量变换将 i_T^* 、 i_M^* 与实际反馈回的励磁电流 i_M 转矩电流 i_T 相比较，经过空间矢量控制，最终生成三相电压驱动信号。



HIVERT-YVF 系列变频器控制原理拓扑

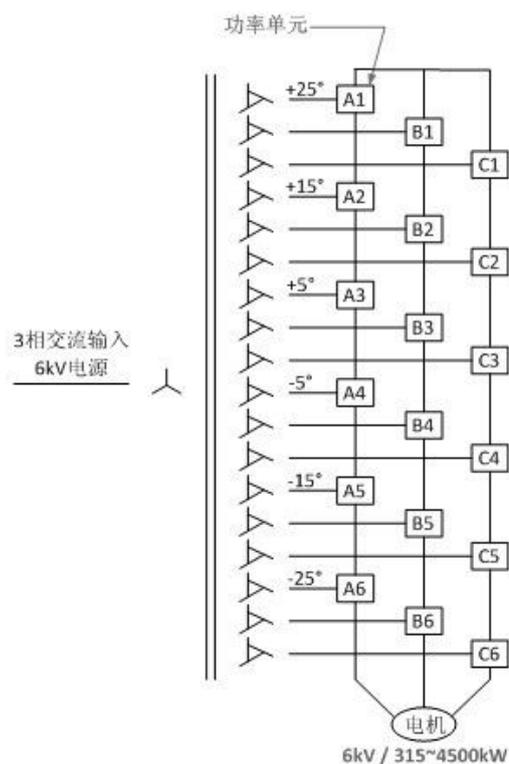
HIVERT-TVF 系列变频器通过矢量控制系统的解耦, 速度给定 (频率给定) 与速度反馈相减得出速度误差, 速度误差经 PI 调节后输出转矩电流给定 i_{qref} ; i_{dref} 励磁电流给定是根据系统的动态需要进行调整其值根据不同的电机和负载得出的经验值。

电机三相电流反馈 i_a 、 i_c 经传感器采样, 然后再根据转子位置电气角度 θ 进行 Clarke 变换, 变换后输出 i_{α} 、 i_{β} ; i_{α} 、 i_{β} 经 Park 变换输出 i_d 、 i_q ; i_d 、 i_q 值与给定值 i_{qref} 、 i_{dref} 求误差, 进行 PI 调节后输出 V_{sqref} 、 V_{sdref} ; V_{sqref} 、 V_{sdref} 和转子位置电气角度 θ 经过 Park 逆变换输出 V_{α} 、 V_{β} ; V_{α} 、 V_{β} 经过 Clarke 逆变换输出电机定子三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 值; 三相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 值作为 PWM (脉宽调制) 的比较值比较输出 PWM 波形到逆变器从而驱动电机旋转。

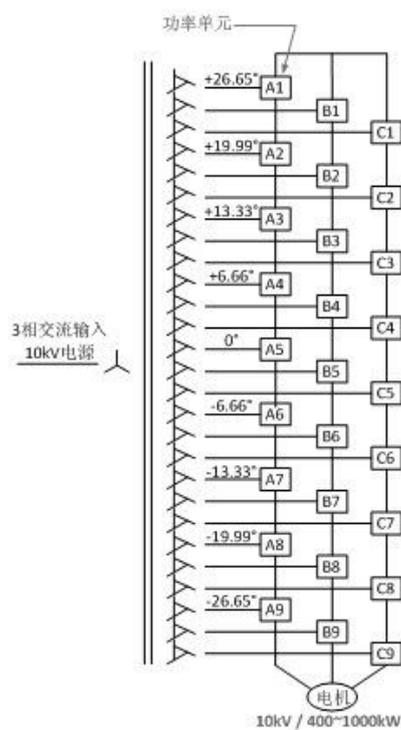
原理

合康矿井提升机用四象限高压变频器有 HVERT-YVF 和 HVERT-TVF 两种系列。其中，HVERT-YVF 适配异步电机，HVERT-TVF 适配同步电机。这两种系列变频器均由移相变压器、功率单元和控制系统（包括：控制器、接口板和人机界面）构成。

当变频器适配电机功率 $\geq 1800\text{kW}$ 时，系统增配启动柜。



HVERT-Y(T)VVF 系列 6kV 变频器拓扑



HVERT-YVF 系列 10kV 变频器拓扑

特性

1、有 PG 矢量控制方式

HIVERT-Y(T)VF 系列变频器采用有 PG 矢量控制方式，在全频率段稳定输出正弦波电流。系统可以对励磁电流和转矩电流分别进行控制，并具有动态响应速度快、电机的加（减）速度特性好等优点。此外，由于系统配置速度编码器，因此电机调速范围广，且系统能够实时准确的监测电机实际转速，具有电机超速保护能力。另外，在配合外部保护信号情况下，可实现短时、快速有效电气制动。

2、额定功率回馈能力

HIVERT-Y(T)VF 系列变频器中功率单元采用 PWM 全控整流方式，功率单元利用 IGBT 进行同步整流，通过控制整流侧 IGBT 所产生的电压与单元输入电压的相位差，从而控制电功率在电网与功率单元之间的流向，使变频器最大回馈功率达到额定输出功率，达到短时制动的要求。

3、低频高转矩输出

HIVERT-Y(T)VF 系列变频器具有对转矩电流单独控制的特点，使电机在低转速下能够输出较大转矩，满足提升机对启动转矩的要求。此外，在提升机系统启动时，盘形闸松开前变频器能够提供初始转矩电流，避免罐笼在松闸后溜车。

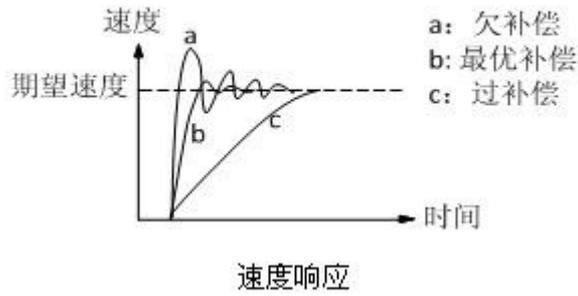
4、自动识别参数功能

对于矢量控制方式下所需的电机相关数据，HIVERT-YVF 系列变频器可通过“空载启动”模式进行参数辨识，检测空载励磁电流 I_0 和转子时间常数 T_r ，这两个参数对于变频器能否以最优性能运行至关重要。

HIVERT-TVF 系列变频器可通过“转子定位”启动模式自动辨别电机转向，所以安装时无需考虑编码器及电机旋转正方向，编码器可根据现场情况灵活安装在电机轴端或尾端。此外，电机转子及定子磁极一般不可见，而绝对值式编码器不但可以同步检测转子的速度，而且能通过脉冲数量准确计算出转子磁极相对于定子磁极的相对位置，从而将同步电机转子提前定位到同步运行状态。

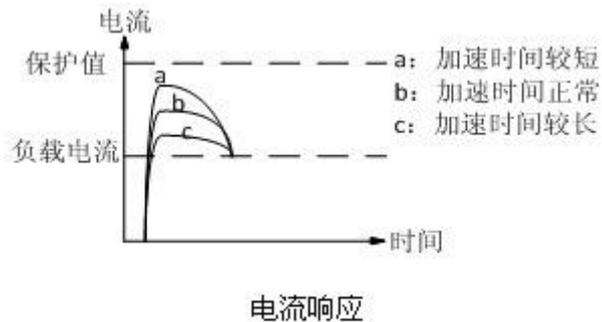
5、转速闭环控制

在电机运行过程中，转速通过脉冲编码器构成闭环控制。HIVERT-Y(T)VF 系列变频器速度调节器会自动调整电机速度，以达到最快的速度响应、最小的超调范围。



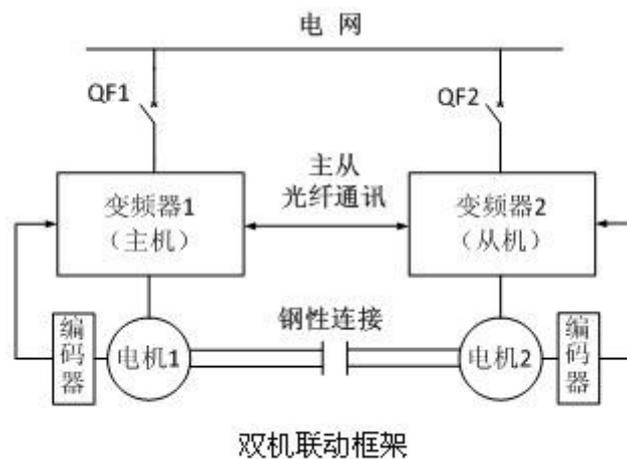
6、电流闭环控制

在电机运行过程中，电流通过霍尔传感器构成闭环控制。HIVERT-Y(T)VF 系列变频器电流调节器会自动调节变频器输出电流，以达到最快的电流响应、最小的电流波动。

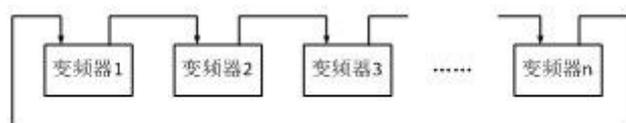


7、双（多）机联动控制功能

HIVERT-Y(T)VF 系列变频器具有双（多）机联动控制功能。当主机接收到外部启动信号后，主机启动，同时将主机数据（包括：启停信号、运行频率和转矩电流）通过光纤实时通讯至从机；从机准确跟踪主机转速、转矩，与主机保持同步。



HIVERT-Y(T)VF 系列每台变频器配置接收和发送两个光纤通讯接口实现主从控制。多机联动系统内每一台电机均配有编码器，各个电机速度或速度及转子位置信号均可反馈至相应变频器。因此，多机联动系统内所有变频器均具有发送主机数据、监控电机转速或转子位置的功能，用户可根据现场情况灵活设置一台变频器为主机、其余变频器为从机。



多机联动通讯框架

技术参数

矿井提升机用四象限高压变频器——HIVERT-Y(T)VF 系列

变频器额定容量	315-4500kW/400-6000kVA※
额定电压	6kV/10kV (-20%~+15%) ※
额定频率	50Hz/60Hz (-10%~10%) ※
调制技术	矢量控制加空间矢量控制技术
控制电源	380VAC, 1-20kVA(依功率等级而定)
输入功率因数	>0.96
效率	>0.96 变频部分>98%
输出频率范围	0Hz~120Hz※
频率分辨率	0.01Hz(0.00Hz-80.00Hz), 或 0.002Hz
瞬时过流保护	200% 立即保护(可根据用户要求定制)
过载能力	120% 2分钟; 150% 3秒;
限流保护	10%-150%设定
模拟量输入	两路 4~20mA
模拟量输出	四路 4~20mA
上位通讯	隔离 RS485 接口, ModBus RTU; Profibus DP; 工业以太网规约(可选)
加减速时间	5秒~1600秒(与负载相关)
开关量输入输出	12入/13出(输出可扩展)
运行环境温度	-5~+45℃※
贮存/运输温度	-40~+70℃※
冷却方式	强迫风冷
环境湿度	<95%, 不结露※
安装海拔高度	<1000米, 高于海拔1000米, 每增加100米降额1%运行
粉尘	不导电、无腐蚀性, <6.5mg/d m ³ ※
防护等级	IP30※
柜体颜色	PANTONE Cool Gray 1U & 2915U(或根据用户提供色标定制)

※超出范围请咨询北京合康亿盛变频科技股份有限公司

规格型号

异步提升机系列

电压 kV	适配电机 功率kW	输出容量 kVA	型号	重量 (kg)	柜体尺寸 (W×H×D)	柜型
6	315	400	HIVERT-YVF 06/048	3150	2100×2300×1400△	FC1.4
	400	500	HIVERT-YVF 06/061	3400		
	500	630	HIVERT-YVF 06/077	4376	4250×2200×1210	FC2.4
	630	800	HIVERT-YVF 06/096	4686		
	800	1000	HIVERT-YVF 06/130	5016		
	1000	1250	HIVERT-YVF 06/154	7630	5200×2100×1210	FC4.4
	1250	1600	HIVERT-YVF 06/192	8310		
	1400	1800	HIVERT-YVF 06/220	9035		
	1600	2000	HIVERT-YVF 06/243	9255		
	1800	2250	HIVERT-YVF 06/273	12770	7845×2400×1410※	FC5.4
2000	2500	HIVERT-YVF 06/304	13250			
10	400	500	HIVERT-YVF 10/040	4060	2400×2400×1600△	FB1.1
	500	630	HIVERT-YVF 10/048	4260		
	630	800	HIVERT-YVF 10/061	4460		
	800	1000	HIVERT-YVF 10/077	5360	5600×2200×1200	FB2.1
	1000	1250	HIVERT-YVF 10/096	5410		
	1250	1600	HIVERT-YVF 10/115	5530		
	1400	1800	HIVERT-YVF 10/130	6020		
	1600	2000	HIVERT-YVF 10/154	7100	7100×2200×1400	FB4.1
	2000	2500	HIVERT-YVF 10/192	7280		

同步提升机系列

电压 kV	适配电机 功率kW	输出容量 kVA	型号	重量 (kg)	柜体尺寸 (W×H×D)	柜型
6	1250	1600	HIVERT-TVF 06/192	8310	5200×2100×1210	FC4.4
	1400	1800	HIVERT-TVF 06/220	9035		
	1600	2000	HIVERT-TVF 06/243	9255		
	1800	2250	HIVERT-TVF 06/273	12770	7845×2400×2400※	FC5.4
	2000	2500	HIVERT-TVF 06/304	13250		
	2500	3150	HIVERT-TVF 06/400	13930		
	3200	4000	HIVERT-TVF 06/500	15010		
	4000	5000	HIVERT-TVF 06/550	20150	12075×2400×1410※	FC6.4
	4500	5650	HIVERT-TVF 06/600	22750		

应用领域

本产品适用于煤矿地面主井、副井等提升设备，低瓦斯矿井井下，适用对象包括井下暗斜井、暗立井；单水平、多水平；单卷筒、双卷筒等矿井提升机。主要应用于矿井提升机以及各种实验平台。

案例

冀中能源峰峰集团吴桐庄矿 2 号主井调速系统改造

——4200kW 同步电机直驱系统

概述

变频调速方案是现今矿山提升系统的必要趋势。由于现在的煤矿大都是多年前设计的配套生产设备，电机大多选用安装、使用方便的异步电机，且由于开采量、提升量等因素限制，电机功率选型一般都不大（250kW-1250kW 之间），有些煤矿的提升系统主驱动仍在 使用 30 年前的绕线异步电机。对于此种中小功率提升系统的场合，国内已经有很多应用案例。

对于早先建设的年产量较大的矿井以及现在新建的高产量矿井，大都配备了大功率同步电机直驱系统，即不加减速器，直接由电机拖动滚动来带动罐笼。以前大功率同步电机提升机的市场一直被国外产品所占领（比如 ABB），国外变频系统一般采用三电平方式，存在输入、输出谐波含量重、价格昂贵、售后服务不及时等问题，且国内变频器行业内一直未有能涉足此种大功率同步电机提升系统的产品出现，基于此种情况，我公司积极研发了基于单元串联方式的高压变频器。这种变频器装置可四象限运行（100%能量回馈能力）、驱动大功率同步电机，现已成功应用于现场。

项目概况

冀中能源峰峰集团有限公司吴桐庄矿 2 号主井提升系统是 2010 年新建主井，现已基本投入生产，2 号主井设计年产量可达到 400 万吨。待 2 号主井完全投入正常生产后，1 号井即可停产，所以 2 号井的投产在未来的整个煤矿生产中占有极其重要的地位。因此，这就要求 2 号主井矿井提升机电力传动系统具有极高的安全可靠性和控制精度以及调速性能。

此项目为新建项目，整个提升机电控系统分为 3 个部分：全数字交-直-交高压变频全数字电控调速系统、网络化操作控制系统、监控系统。电控采用洛阳智超的全数字化自动控制系统，使用 S7-300 系列 PLC 作在线冗余系统，可靠性高。

传动系统：采用北京合康变频生产的同步电机矢量控制提升机专用高压变频器，变频器型号：HIVERT-TVF 06/600 变频器的容量为 5250kVA，干式变压器容量 5250KVA，适配电动机 4200kW，满足 4200kw/6kv 电机的需要；

控制系统：采用西门子公司 S7-400 双 PLC 双线制控制，配组合式网络化控制的操纵台；

监控系统：采用原装进口工控机系统含大屏幕彩色显示器、激光打印机；监控软件是基于 Win-CC 系统下的人机接口，由许多标准软件技术构成。它用于监视和控制过程控制系统，在调试过程具有编程器的功能，汉化程度高。

控制系统、传动系统、监控系统之间通过 PLC 数据总线进行系统通讯及信号交换，并预留与矿井局域网进行联网的接口（opc 通讯协议），具有远程诊断功能。井筒控制和信号系统与主控系统采用总线通讯方式+硬接线方式进行信息交换。

现场性能分析

4200kW 主井提升系统参数为：

滚筒直径 4.5m；

井深 640m；

4 根钢丝绳，每根直径 50mm；

斗车重 35 吨；

目前载货量为 20 吨；

无减速机；

额定提升速度 13m/s；

电机额定转速 57rpm，电机额定空载电流 100A；

变频器稳态输出电流 260A，提升时最大加速电流 400A，下放时最大减速电流 350A，运行稳定。

系统在重载情况下启动，变频器的输出波形很平稳，系统的启动过程均匀加速，无较大冲击电流。从图 1 中可以看出电流超前于电压，系统运行的功率因数基本处于超前状态。

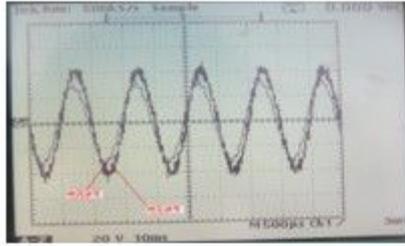


图 1 重负载输出波形



图 2 主井塔



图 3 井塔



图 4 滚筒轴末端安装编码器



图 5 主电机与滚筒



图 6 变频器现场

经济效益分析

- 吴桐庄矿主井提升系统完成变频调速工程以后，具有以下优点：
- 启动转矩大，爬行区有劲儿，加、减速快速平稳，全速运行时速度保持度好。启动和加减速阶段基本不存在机械冲击，极大的延长了设备的使用寿命；
- 缩短提升时间，产量高。新系统一勾的提升时间约为 110s，时间效率得到提高；
- 再生制动，能量回馈，节约电能；
- 闸瓦磨损小，输入输出谐波含量极低，对电网无污染，对周边设备无干扰。维护量小；
- 实现了软启动、软停车，减少了机械冲击，使运行更加平稳可靠。
- 启动及加、减速时冲击电流很小，减轻了对电网的冲击，简化了操作、降低了工人的劳动强度。
- 启动转距、低频转距、制动转距均符合规定的要求。
- 运行速度曲线成 S 形，使加减速平滑、无撞击感。
- 远控及显示正常，使操作方便、观测更直观。

- 安全保护功能齐全，除一般的过压、欠压、过载、短路、温升等保护外，还设有联锁保护、自动限速保护功能等

- 当减速制动及重物下放时，能实现能量回馈。

改造后优点

序号	项目	完成变频安装后
1	加减速时间	加减速时间恒定不随负载变化，与司机操作无关，提高了生产效率
2	机械冲击	无机械冲击
3	电网冲击	启动时输出电流为额定 1.2 倍左右，等速段、减速段、爬行段无输出电流冲击，启动时网侧电流为额定电流的 0.3—0.4 倍，无冲击
4	低速爬行	速度闭环控制，低速爬行稳定；可以在 0.1m/s 的低速平稳运行
5	司机操作	操作简单、容易，劳动强度小
6	重物下放	再生制动，能量回馈到电网，节约能量
7	系统节能	系统节能明显，一般在 10%-30%左右
8	功率因数	网侧功率因数 0.95 以上，符合国家标准
9	电机发热	因电流减小，电机发热明显减少
10	闸瓦磨损	闸瓦磨损小，减少粉尘，改善了值班环境
11	环境温度	无大功率发热器件，改善了值班环境
12	谐波问题	完美无谐波变频器，输入输出谐波含量低，对电网无污染，对其他设备无干扰
13	噪声	无噪声，改善了值班环境
14	启动力矩	启动转矩大，可以达到额定力矩的 2 倍
15	维护	维护量小

我公司自主研发的驱动同步电机、四象限运行的大功率高压变频器已经成功运行于矿井提升机大功率同步电机负载。高压同步电机全数字化矢量控制变频器具有四象限运行、启动转矩大、恒转矩输出、调速范围宽、谐波小等显著特点。填补了国内相关技术领域的空白，打破了国外持久以来的垄断现状，为民族产业的创新、开拓起到了榜样作用。