



高压变频器 在熟料生产线高温风机上的应用

贾庆, 李思宏, 李玉山

(鲁南中联水泥有限公司, 山东 滕州 277531)

摘要: 本文通过高压变频器在鲁南中联 2 500t/d 熟料生产线高温风机调速系统中的应用实例, 简单介绍了高压变频器的原理、结构、优点及特点, 总结了高压变频器安装调试及使用过程中出现的问题及注意事项。

关键词: 高压变频器; 高温风机; 节能; 使用经验; 经济效益

鲁南中联水泥有限公司 1 号、2 号 2 000t/d 熟料生产线于 1987 年建设, 1990 年投产, 是我国最早的两条自行研究、设计、建设的新型干法旋窑水泥生产线。这两条生产线高温风机电机均使用上海电机厂生产的型号为 YKK1600-6W 的 6kV 三相异步电动机; 额定功率: 1 600kW; 额定电流: 180A; 额定转速: 995r/min; 功率因数: 0.89。高温风机的调速方式一直采用液力耦合器调速, 整个工艺的过程主要是高温风机电动机全速运行, 通过调节液力耦合器的速度来调节高温风机的风量, 达到控制窑内负压参数的目的。多年来的使用过程中, 我们发现用液力耦合器对风机进行调速存在着很大的弊端。主要表现在: 液力耦合器调速-属低效调速方式, 调速精度差, 转速波动大, 调速范围有限, 只能在 40%~95% 的范围内调速, 有时不能满足生产工艺的调速需要, 对熟料的产质量有很大影响; 效率与调速比成正比, 低速段时转差损耗大, 自身最高损耗可达额定功率的 15%, 效率极低; 高速段造成约 5% 的速度损失, 最高时刻丢转达 10%, 影响了机组的出力; 液力耦合器不能解决电机的启动问题, 电机仍然为直接启动, 启动电流高, 对电网冲击大, 并且不能频繁启动; 液力耦合器为电机和机械设备的中间连接环节, 维护复杂, 一旦液力耦合器出现故障, 负载机械将无法运转, 只能停机维修

液力耦合器, 造成停产损失。

2010 年初, 鲁南中联水泥有限公司开始对 1 号、2 号熟料生产线进行 2 500t/d 技术改造, 我们经过对各种风机类负载调速方式的分析和比较, 认为高压变频器应用在风机负载调速系统上, 在节能和精度调节方面具有无可比拟的优势。决定对高温风机采取如下改造方案: 拆除液力耦合器, 保留高温风机原电动机, 新增加 1 台高压变频器, 对高温风机电动机进行启动与调速控制。所选变频器的型号为北京合康亿盛的 HIVERT-Y-06/192P; 额定容量: 2 000KVA; 额定功率: 1 600kW; 额定电压: 6kV; 功率因数: 0.96; 额定输出电流: 192A。

本文将从高压变频器基本结构、工作原理、主要特点、实际应用中的使用经验等方面对其做一简要介绍。

1 高压变频器系统结构及工作原理

1.1 结构组成

包括变压器柜(安装移相变压器、通风机)、控制柜(安装控制器、IO 接口板和人机界面等控制系统元件。其中控制器由三块光纤板、一块信号板、一块主控板和一块电源板组成)、单元柜(安装 15 个模块化的功率单元)。

1.2 工作原理

(1) 理论支持:

按照电机学的基本原理,交流异步电机的转速满足的关系式:

$$n=(1-s)60f/p=n_0(1-s)$$

式中: n —电机的实际转速;

n_0 —电机的同步转速;

p —电机的极对数;

f —电机当前的运行频率;

s —电机的滑差。

从式中看出,电机的同步转速 n_0 正比于电机的运行频率 ($n_0=60f/p$), 由于滑差 s 一般情况下比较小 ($0\sim 0.05$), 电机的实际转速 n 约等于电机的同步转速 n_0 , 所以调节了电机的供电频率 f , 就能改变电机的实际转速。

(2) 基本工作原理

HIVERT 大功率高压变频器属直接高-高、交-直-交、电压源型变频器, 采用了先进的功率单元串联、叠波升压技术、空间矢量控制的正弦波 PWM 调制方法。

高压变频器每相由五个 690VAC 功率单元组成, 各个功率单元由隔离变压器提供独立的移相电源。通过功率单元的串联、叠波升压后, 可以得到 5~0~5 共 11 个不同的电压等级。三相输出 Y 接, 中性点悬浮, 就可以得到驱动电机所需的可变频三相 6 000V 的工作电源。

功率单元输入电源端 R、S、T 接变压器二次线圈, 三相二极管全波整流, 中间采用大电容滤波, 对电压进行平滑。IGBT 单相 H 形桥式逆变输出, PWM 控制

技术, 既控制电压输出波形中交流基波的幅值大小, 也控制交流基波电压的频率。单个功率单元相当于三相输入, 单相输出低压电压源型变频器。

1.3 电气原理简图

原理见图 1 单元串联主回路、图 2 电压叠加图、

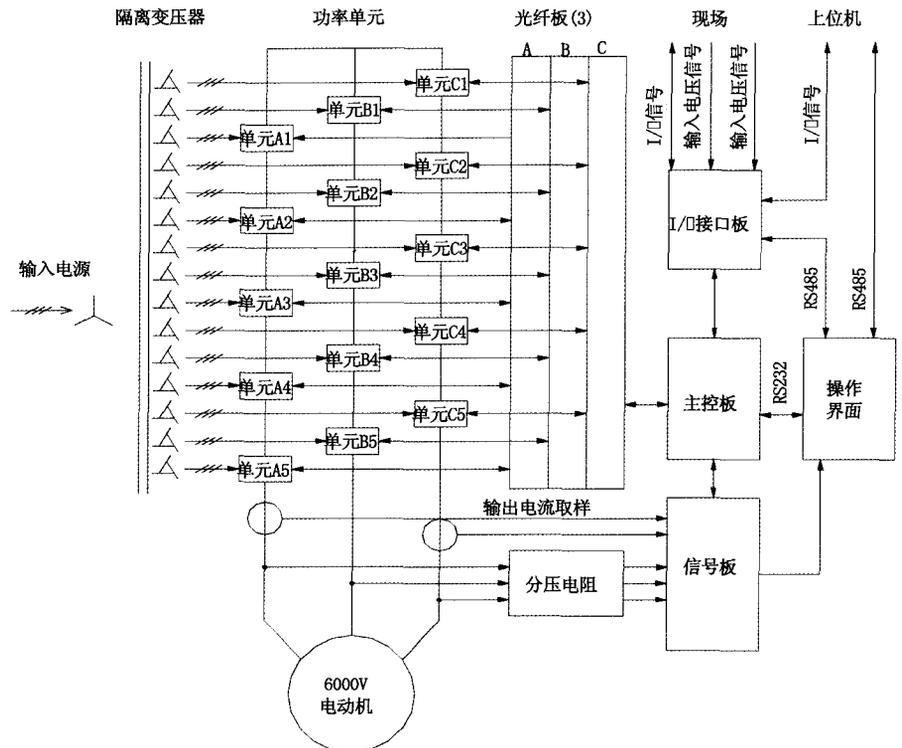


图1 单元串联主回路

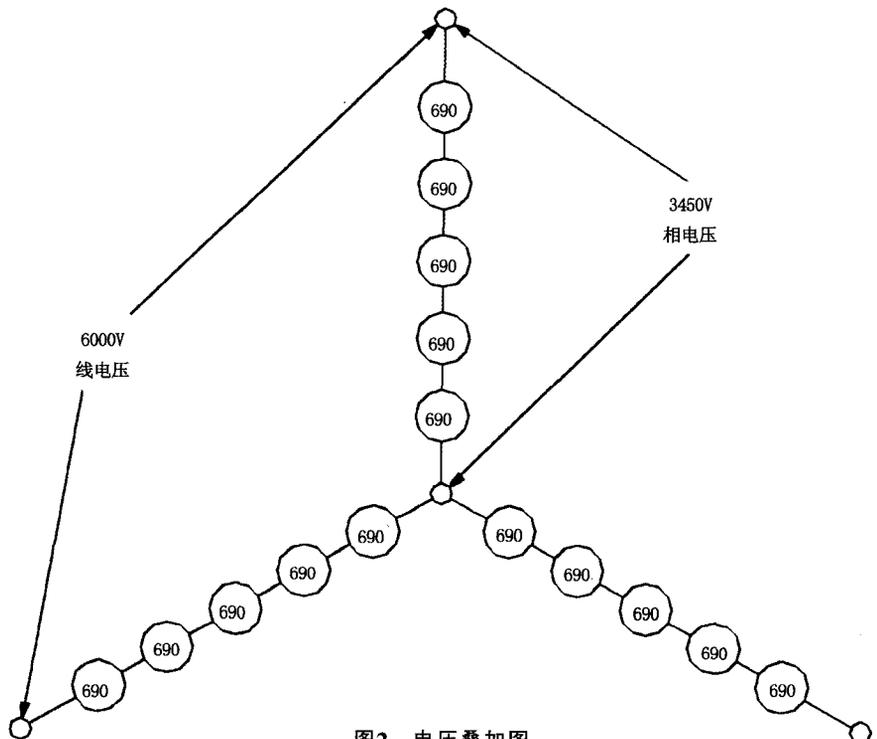


图2 电压叠加图

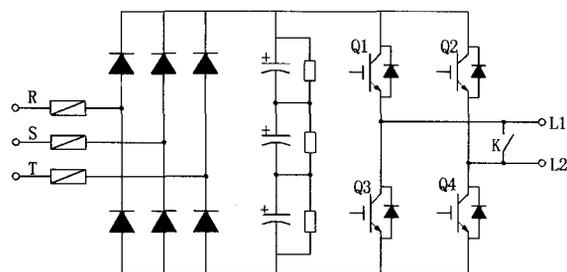


图3 功率单元图

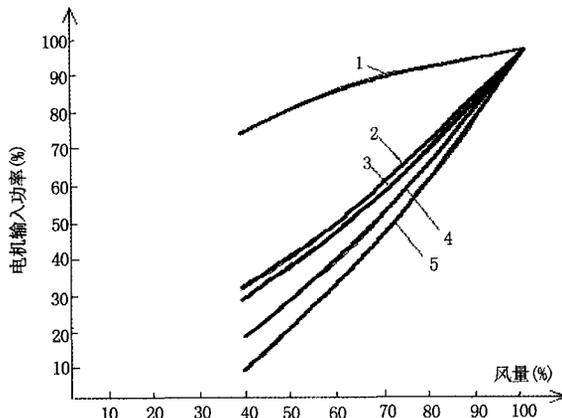
图3 功率单元图。

2 高压变频器的特点

(1)高精度、宽范围的无级调速,全面满足各种复杂工艺的需要。频率分辨率可达0.01Hz,调速范围为0~100%,如果电机和负载机械强度允许,电机也不过流的话,变频器还可以使机械超速运行。无级调速、调节风量的线性度好,效率高。

(2)节约电能。采用高压变频调速后,风机、水泵类负载的节能效果最明显,节电率可达到20%~60%。这是因为风机水泵的耗用功率与转速的三次方成比例,即 $p_2/p_1 = (q_2/q_1) \times (h_2/h_1) = (n_2/n_1)^3$ (其中:q:流量,n:转速;h:扬程、风压,p:功率),当用户需要的平均流量较小时,风机、水泵的转速较低,其节能效果十分可观。不同的风机调风方案其电动机电力消耗特性曲线见图4。

(3)高压变频器对电机及负载机械实现真正的软启动,启动电流小,彻底解决了启动冲击问题,如果工艺需要,电机可以在短时间内多次重复启动。



1-风机转速不变,用阀门调风量;2-液力耦合器调速调风量;3-绕线电机用液体电阻调速器调速调风量;4-交流电机变频或绕线电机串级调速调风量;5-不计调速装置功率消耗,在不同风量下通风系统的功率计算值

图4 风机电动机的功率消耗特性曲线

(4)高质量的输入特性。HIVERT 高压变频器输入侧通过通过隔离变压器副边绕组移相,采用多脉冲二极管整流输入(6kV 为 30/36 脉冲,既副边采用延边三角形接法,绕组间有 12°的相位差),为功率单元提供隔离电源,可消除单个功率单元引起的大部分谐波电流。变频器输入电流的总谐波含量(THD)远小于国家标准 5%的要求,因此无需在输入侧安装滤波器,并保护周边设备免受谐波干扰。

(5)电源输出性能完美。HIVERT 高压变频器采用单元串联脉宽调制叠波技术(或单元多重化技术),大大削弱了输出谐波含量,输出波形为几近完美的的正弦波。输入侧无需安装滤波器;主回路电缆、电动机绝缘免受 dv/dt 应力的损伤;可以直接驱动普通高压电动机,不会增加电机温升;电缆无长度限制;没有谐波引起的引起的脉动转矩,可延长电机和机械设备的寿命。

(6)选用的电压型变频器正常调速范围内功率因数大于 0.96,可对电机功率因数实现就地补偿,提高供电设备容量的有效利用率,降低供电容量。

(7)输出电压的谐波含功率单元通过光纤与控制器的通讯,强弱电光电隔离,抗干扰能力强。

(8)功率单元有单元旁路功能,当单元发生部分故障时,通过可控硅将故障单元旁路,降额运行,提高了运行的可靠性。

(9)冷却风机采用高压主电源降压后直接驱动,风机仅在上高压电后运行。系统 220VAC 控制电源容量仅需 1kVA,且避免了冷却风机启、停时对控制系统的干扰。

(10)更适应于国内电网条件,变频器工作电压范围为 $UN+15\% \sim -20\%$,如 6kV 系列可稳定运行于 6 900V 电压条件下。

(11)瞬时停电跟踪保护功能,保证工变频投切。当主电源失电后,变频器控制电机处于发电状态运行,为单元电容充电,并为单元控制电源供电工作,直至主电源恢复,变频器回到原运行状态。

(12)完善的上位控制功能。可与 DCS 系统实现通讯(采用标准 MODBUS 通讯规约)或 I/O 方式硬连接。设备的生产操作和运行参数的监控均直观、实用,

易于操作。

(13)功率单元模块化设计,维护简单;采用可靠的1700V IGBT器件。

3 值得借鉴的几点使用经验

(1)受“塌料”的影响,高温风机变频器功率单元的选型问题。高温风机塌料是水泥厂窑系统实际生产中普遍存在并频繁出现的一个问题。原因是生产过程中,预热器管壁上的粉尘黏附到一定厚度时就会坍塌脱落,造成管道内粉尘浓度增大,阻力增加,排风管内气流紊乱、波动,负压升高,风机负荷骤然增加。高温风机的运行电流极短的时间内突然超出正常电流数倍。此时,高温风机转速明显下降,高温风机电动机发出沉闷的“嗡嗡”声,且持续较长的一段时间。这时高温风机的超高电流会对高压变频器形成一个冲击,有可能会造成高温风机过负荷停机、高压变频器的功率单元过电流击穿。为解决这一问题,我们通常在对熟料生产线高温风机使用的变频器选型时,选取容量高一个规格变频器的功率单元。如我们此次在对额定电流为180A的高温风机变频器选型时,虽然变频器选取了HIVERT-Y-06/192P型(原配192A功率单元),但是却升级配置了输出电流可达210A的功率单元使用,效果良好。需要注意的是,水泥厂生产线其他风机类设备则基本不存在这种情况,完全可按常规选型。

(2)电动机温升问题。改造前我们曾经担心高温风机电机降速后,自身冷却风叶转速下降,电机散热效果不好,电机可能会有过热的问题。实际上该问题并没有出现,电机的温升不但没有升高,反而有所下降。因为电机降速后,虽然自身冷却效果下降,但是电机降速后输出功率大大降低了(电机输出功率与转速的立方成正比),电机本体电能转化成的热能也相应减少了。

(3)消除电磁干扰的方法。为防止高压变频器对其他电气设备、电气线路传导和辐射产生的电磁干扰,变频器与电机之间尽量使用屏蔽电缆。而且电缆屏蔽层的总截面积必须大于单相导体截面积的50%,否则还要沿着电缆增加一根截面积大于 16mm^2 的接

地线,以防止工厂接地网电势差造成屏蔽层过载。控制、信号及通讯电缆应选择单对双绞线或多对双绞线电缆,并与电源电缆分开铺设。屏蔽层要在变频器侧单端接地,接地电阻阻值要小于 $1\text{M}\Omega$,模拟量电路加装信号隔离元件。

(4)变频器功能设置,“反转运行”必须设置为“不允许”,否则上位机进行数字给定,给定频率误设为负数时,变频器将反转运行,有可能给机械设备或生产工况造成严重的影响。

(5)设备维护时应注意,设备因为整流、逆变回路中有二极管、晶闸管、IGBT等元件及大量电路板,所以在清理盘柜的时候应该用软毛刷清洁柜内元器件,不允许使用有机溶剂喷刷。

(6)绝缘栅双极型晶体管IGBT属于绝缘栅控元件,其栅极和射极间不允许开路。取拿IGBT时要拿外壳,不要接触端子引线。

(7)柜内靠近或接触元器件,一定要消除静电(ESD)。印刷线路板上有许多元件对静电很敏感。如进行接触或维护对静电敏感元件的工作,消除静电的方法是:戴接地防静电手镯环,该手镯环通过 $1\text{M}\Omega$ 电阻接地;通过触摸接地的金属片可以消除静电。

(8)变频器运行过程,不要断开控制电源,这有可能导致出现未知损害,这将导致功率单元损坏

(9)不要用高压摇表测量变频器的输出绝缘,这样会使功率单元中的开关器件损坏。

(10)经常用一张A4纸检查变压器柜、功率单元柜进风口风量,看纸张是否能被过滤网牢牢吸住,如吸附不住,则应检查冷却风机是否运转正常,或更换或清洗过滤网。

(11)检修或更换功率单元,一定要将高压切断并将器下端可靠接地,然后方可打开高压柜门,并检查所有单元指示灯完全熄灭3min后才能接触功率单元。

(12)变频器选有注意事项:变频器模拟量输出均为4~20mA,负载电阻要求必须小于 500Ω ,选用应注意,否则会造成极大误差。

(13)变频器风道安装注意事项。风道出口面积不小于变频器风机出口面积的0.8倍,风道出口面积不小于变频器风机出口面积的0.8倍。



4 调试使用过程中遇到的问题及解决方法

4.1 电动机“共振”问题

调试过程中我们发现,高温风机运行频率的范围在 11Hz~13Hz 的范围内时,电动机会出现“扭曲共振”的情况。此时变频器的输出电流在 38~65A 的范围内剧烈波动,现场电动机振动加大,噪音加剧,发出低沉的“嗡嗡”声。我们采取了通过设置变频器跳转频率跳转区域来解决这个问题的措施。在变频器人机界面“参数设置”屏中,我们将跳转频率点 1 设置为下限频率 1L=10.5Hz, 上限频率 1U=13.5Hz, 来避开风机系统固有的共振点。既变频器只有在启动或停止的加、减速过程中,否则不在这个范围内运行。当设置频率处于跳转频率区域时,系统自动将运行频率调整到跳转频率的上限值。自此解决了高温风机“共振”的问题。

4.2 变频器过电压保护动作

在带负载调试时高压变频器接连两次出现过电压报警。经过对变频器使用手册的检查我们发现,变频器直流母线电压超过 1 150VDC 时,报直流母线过压,并采取保护措施。可能由以下原因造成:(1)输入的高压电源超过允许最大值(电源电压过高时,可以将变压器分接头接到 105%上)。(2)变频器的减速时间设置过短,造成减速时过电压,适当加大变频器的减速时间设定值。(3)在空载电机调试时,比较容易出现直流母线过压,此时,可以适当调低基准电压。

排除(1)、(3)的原因后,我们加大了变频器的减速时间设定值,将减速时间从 150s 增加到了 450s。之后调试,一切正常。

4.3 变频器上电既跳闸

调试初期,出现过变频器上电既跳闸的故障。原因是变频器上电时,因为变压器的激磁涌流和单元电容充电,瞬时电流有效值可达到变频器额定电流的 6~7 倍,持续时间为几十毫秒。若变频器上级开关过流保护整定值小,会造成上级开关过流保护跳闸。

解决方法:调整增大上级开关过流保护定值

5 变频改造后的效果

5.1 生产工况明显改善

鲁南中联水泥有限公司高温风机变频器自改造投运 5 个月以来,运行稳定,状况良好。运行电流较改造前平稳很多,仅在 0.5~1.5A 范围内上下波动,转速波动也较以前大大减少。烧成窑中控操作更加方便,通过对变频器的调节能很好的控制其他工艺参数,调节精度也明显提高,间接地增强和提高了熟料的产质量。另外由于减少了风机叶轮等机械设备因长期高速运行而造成的磨损,从而也大大降低了检修费用。

5.2 经济效益显著

鲁南中联水泥有限公司 2 500t/d 熟料生产线高温风机在使用了高压变频器后,在满足生产工艺调速要求的情况下,长期运行频率:40Hz;运行电流:130A。

由此可估算节能情况:

(1)未使用高压变频器前年耗电量约为(按年运行 320d 计算):

电动机额定转速运行,运行电流在 180A 左右,电动机功率基本在额定功率的状态下运行,此时年耗电量为:

$$1\ 600\text{kW} \times 24\text{h} \times 320\ \text{天} = 12\ 288\ 000\text{kWh}$$

每度电按 0.51 元计算,须缴电费:

$$12\ 288\ 000\text{kWh} \times 0.51\ \text{元} = 6\ 266\ 880\ \text{元}$$

(2)使用 HIVER-T-Y-06/192P 高压变频器后年耗电量约为(按年运行 320 天计算,变频器工作频率 40Hz,输出电流 130A,功率因数 0.96 计算):

$$P = 1.732 \times U \times I \times \cos\varphi / 1\ 000 = 1.732 \times 6\ 000 \times 130 \times 0.96 / 1\ 000 = 1\ 296.9\text{kW}$$

年耗电量约为:

$$1\ 296.9\text{kW} \times 24\text{h} \times 320\ \text{天} = 9\ 960\ 192\text{kWh}$$

每度电按 0.51 元计算,须缴电费:

$$9\ 960\ 192\text{kWh} \times 0.51\ \text{元} = 5\ 079\ 697\ \text{元}$$

(3)全年节余电费

$$6\ 266\ 880\ \text{元} - 5\ 079\ 697\ \text{元} = 1\ 187\ 183\ \text{元}$$

由此可见,利用高压变频器对风机类高压电动机负载进行调速,的确是值得在新型干法水泥生产线上推广和应用。□