

[变频器]

高压变频器在锅炉送引风机上的应用

文/宜兴华润热电有限公司 唐群伟 江华明

在宜兴华润热电有限公司的工业生产中，锅炉送、引风机是主要的耗电设备，且容量大、耗电多。通过变频调速控制风机的流量，实现了电动机转速连续无级调速，调速范围宽、调节精度高、效率高，实现了电动机的软起动，减少了起动冲击及设备磨损。另外，变频装置安装比较方便，只需在原断路器与电动机之间串联变频装置即可，无需对负载和电动机做任何改动。通过对锅炉送、引风机进行变频改造，可实现锅炉系统的优化控制，大幅度降低企业的生产成本，提高经济效益。

宜兴华润热电有限公司#2锅炉燃烧需要的氧量是通过两台送风机、两台引风机的风量调节配合来实现的。在高压变频器改造前，送风机运行在工频下，通过挡板控制送风量。引风机通过调整电动机极数和液力耦合器开度方式调整引风量，平时随季度负荷的变化需多次停引风机进行电动机变级操作。

1. 送风机简介

(1) 送风机主要参数

送风机主要参数如表1所示。

表1 电动机与变压器匹配

参数名称	全压	额定电压	风机轴功率	额定转速
数值	6.345 kPa (m)	146 587 m ³ /h	313 kw	1 485 r/min

(2) 送风机电动机主要技术参数

送风机电动机主要技术参数如表2所示。

表2 送风机电动机主要技术参数

参数名称	额定功率	额定电流	功率因数	额定电压	额定转速	额定效率
数值	355 kW	43 A	0.85	6 kV	1 490 r/min	85.8 %

(3) 送风机全年运行工况

送风机全年运行工况如表3所示。

表3 送风机全年运行工况

参数	工况1	工况2	工况3
风压/kPa	2.37/2.48	2.44/2.6	2.8/3.0
年运行时间（所占比例）	35%	45%	20%

2. 引风机简介

(1) 引风机主要技术参数

引风机主要技术参数如表4所示。

表4 引风机主要技术参数

参数名称	全压	额定风量	风机轴功率	风机轴效率	额定转速	介质的额定温度
数值	5.992 kPa (m)	252 922 m ³ /h	521 kw	85.1%	985 r/min	125 ℃

(2) 引风机电动机采用双速控制，主要技术参数

引风机电动机采用双速控制时的主要技术参数如表5所示。

(3) 引风机全年运行工况

表5 引风机电动机采用双速控制时的主要技术参数

参数名称	额定功率	额定电流	功率因数	额定电压	额定转速	额定效率
数值	630 kW	77 A	0.84	6 kV	1 000/750 r/min	93%

引风机全年运行工况如表6所示。

表6 引风机全年运行工况

参数	工况1	工况2	工况3
蒸发量/(t/h)	173	203	226
有功发电量/MW	42	50	55
液耦开度 (%)	35/51	38/52	50/69
电动机电流/A	38.4/39.2	39.4/39.6	41.8/42
风压/kPa	2.46/2.44	2.8/2.67	2.88/2.78
年运行时间（所占比例）	30%	45%	20%

高压变频器在送、引风机上应用的理论分析

1. 节能测算

1) 送风机变频改造后节能预测

仅以2#炉A送风机为例进行测算

挡板开度为50%时,出口风压2.6 kPa,电动机实际电流 I 为28.5 A,电压 U 为6 kV,功率因数取 $\cos \phi$ 为0.84

$$\begin{aligned} P_{\text{实际}} &= 1.732 \times U \times I \times \cos \phi \\ &= 1.732 \times 6 \times 28.5 \times 0.84 \\ &= 249 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{变频后}} &= P_{\text{轴}} \times (\text{实际压力}/\text{额定压力})^{1.5} / \eta_{\text{高压变频器}} / \eta_{\text{电动机}} \\ &= 313 \text{ kW} \times (2.6 \text{ kPa}/6.345 \text{ kPa})^{1.5} / 0.96 / 0.928 \\ &= 313 \text{ kW} \times 0.263 / 0.96 / 0.928 \\ &= 92 \text{ kW} \end{aligned}$$

式中, $P_{\text{轴}} = 313$, $\eta_{\text{高压变频器}} = 0.96$ (根据高压变频器参数), $\eta_{\text{电动机}} = \text{额定功率}/1.732/\text{额定电压}/\text{功率因数}/\text{额定电流} = 0.928$ 。

通过上述运算可得

$$\begin{aligned} P_{\text{节约}} &= P_{\text{实际}} - P_{\text{变频后}} \\ P_{\text{节约}} &= P_{\text{实际}} - P_{\text{变频后}} = 249 - 92 = 157 \text{ kW} \end{aligned}$$

改用变频后预计送风机单台风机每小时节约用电157 kW·h。

2) 引风机变频改造后节能预测

因为引风机采用了双速电动机,当电动机运行转速为750 r/min,液偶实际输出转速约657 r/min,根据风机的特性,输入的额定转速降低,风机的特性曲线大幅度改变,额定的风压和风量应该按流体力学的比例关系降低,即额定风量由252 922 m³/h约降为188 797 m³/h,额定压力由5.992 kPa降为3.338 kPa,风机的轴功率应由521 kW约降为396 kW,计算如下。

$$\begin{aligned} P_{\text{变频后}} &= P_{\text{轴}} \times (\text{实际转速}/\text{额定转速})^3 / \eta_{\text{高压变频器}} / \eta_{\text{电动机}} \\ &= 396 \text{ kW} \times (657/739)^3 / 0.96 / 0.937 \\ &= 396 \text{ kW} \times 0.7 / 0.96 / 0.937 \\ &= 308 \text{ kW} \end{aligned}$$

式中, $P_{\text{轴}} = 396$, $\eta_{\text{高压变频器}} = 0.96$ (根据高压变频器参数), $\eta_{\text{电动机}} = \text{额定功率}/1.732/\text{额定电压}/\text{功率因数}/\text{额定电流} = 0.937$ 。

在该工况下,引风机实际功率 $P_{\text{实际}}$ 约365 kW,通过上述运算可得

$$\begin{aligned} P_{\text{节约}} &= P_{\text{实际}} - P_{\text{变频后}} \\ P_{\text{节约}} &= P_{\text{实际}} - P_{\text{变频后}} = 365 - 308 = 57 \text{ kW} \end{aligned}$$

改用变频后单台引风机预计每小时节约用电57 kW·h。

2. 系统优化空间分析

1) 2#炉A、B引风机是通过电动机变级和调整

液力耦合器开度的方式调整引风机转速,通过高压变频改造后可以更进一步节能,通过变频改造避免在异常方式下对引风机电动机进行变级操作。

2) 采用挡板调节不仅增大了系统的节流损失,而且由于调节不连续,系统风压很容易出现波动。对风机进行变频改造,可一劳永逸解决以上问题,还可提高自动控制水平,通过节能收回投资。同时利用高压变频器的软起动功能及平滑调速的特点,可实现系统的平稳调节,稳定系统的工作状态,延长锅炉各部件的使用寿命。

3) 送、引风机都改变频控制后可实现#2锅炉炉膛负压的自动调节,满足华润控股安评整改对自动投入的要求。

4) 降低电动机起动电流:变频改造前电动机起动电流一般为额定电流的6~8倍,而通过高压变频器可实现高压电动机的软起动,降低电动机起动电流,延长电动机使用寿命,降低电动机起动对电网的冲击。

5) 提高电动机运行功率因数:变频改造前,风机电动机运行的功率因数在0.85左右,变频改造后风机电动机运行功率因数均在0.96以上,无需增加无功补偿装置即可降低供电容量,具备良好的潜在效益。

6) 降低噪音:由于挡板调节运行时,风对挡板造成巨大冲击,不仅对设备损坏严重,而且噪音大,对运行人员健康造成影响,而采用变频调节后,电动机在低速运行时噪音降低,去除了由于风对挡板冲击而造成的噪音,改善了运行人员的工作环境。

高压变频器在锅炉送、引风机上实际应用

2014年08月2#炉A、B送风机高压变频器正式投入运行,2015年04月2#炉A、B引风机高压变频器正式投入运行。

1. 送、引风机高压变频器系统简介

上述2#炉送、引风机高压变频器均使用北京合康的HIVERT系列产品,采用手动旁路方式,如图1所示。

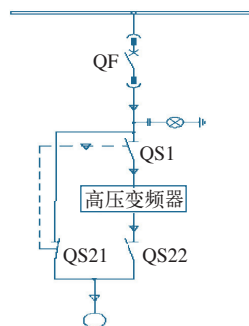


图1 高压变频器主回路图

手动旁路系统中有三个隔离开关QS1、QS21和QS22，其中QS21和QS22为一个双刀双投的隔离开关。双刀双投隔离开关的特点是两个方向只能合其一，实现自然的机械互锁，防止误操作将工频电源反送到高压变频器输出侧而导致高压变频器损坏。

变频运行：QS1、QS22闭合，QS21断开，由合闸断路器QF为高压变频器供电，再通过高压变频器本地或远程起动电动机变频运行。

工频定速运行：QS1、QS22断开，QS21闭合，由合闸断路器QF直接起动电动机定速运行。

高压变频器维护、修理：QS1、QS22断开，高压变频器与高压电源完全隔离。

旁路系统与上级高压断路器QF有联锁关系，旁路系统隔离开关未合到位时，不允许QF合闸；QF合闸时，绝对不允许操作隔离开关，以防止出现拉弧现象，确保操作人员和设备的安全。隔离开关与QF的联锁通过操作手柄上的电磁锁实现，在QF合闸状态下，操作手柄被锁死。

为了保护高压变频器，在高压变频器与断路器QF之间还有电气联锁，联锁信号有：

(1) 合闸闭锁：将高压变频器“合闸允许”信号与旁路系统“工频投入”信号并联后，串联于高压开关合闸回路。在变频投入状态下，高压变频器故障或不就绪时，断路器QF合闸不允许；旁路投入状态时，合闸闭锁无效。

(2) 故障分闸：将高压变频器“分闸信号”与旁路系统“变频投入”信号串联后，并联于高压开关分闸回路。在变频投入状态下，当高压变频器出现故障时，分断高压变频器高压输入；旁路投入状态下，高压变频器故障分闸无效。

(3) 高压开关保护整定：按避开高压变频器移相变压器的速断电流整定。

该高压变频器采用功率单元串联叠波技术，空间矢量控制的正弦波PWM调制方法，全中文操作界面和IGBT功率器件，如图2所示。

2. 节能效果分析

为对2#炉送、引风机用电数据进行了一个月的采样，数据如表7所示。

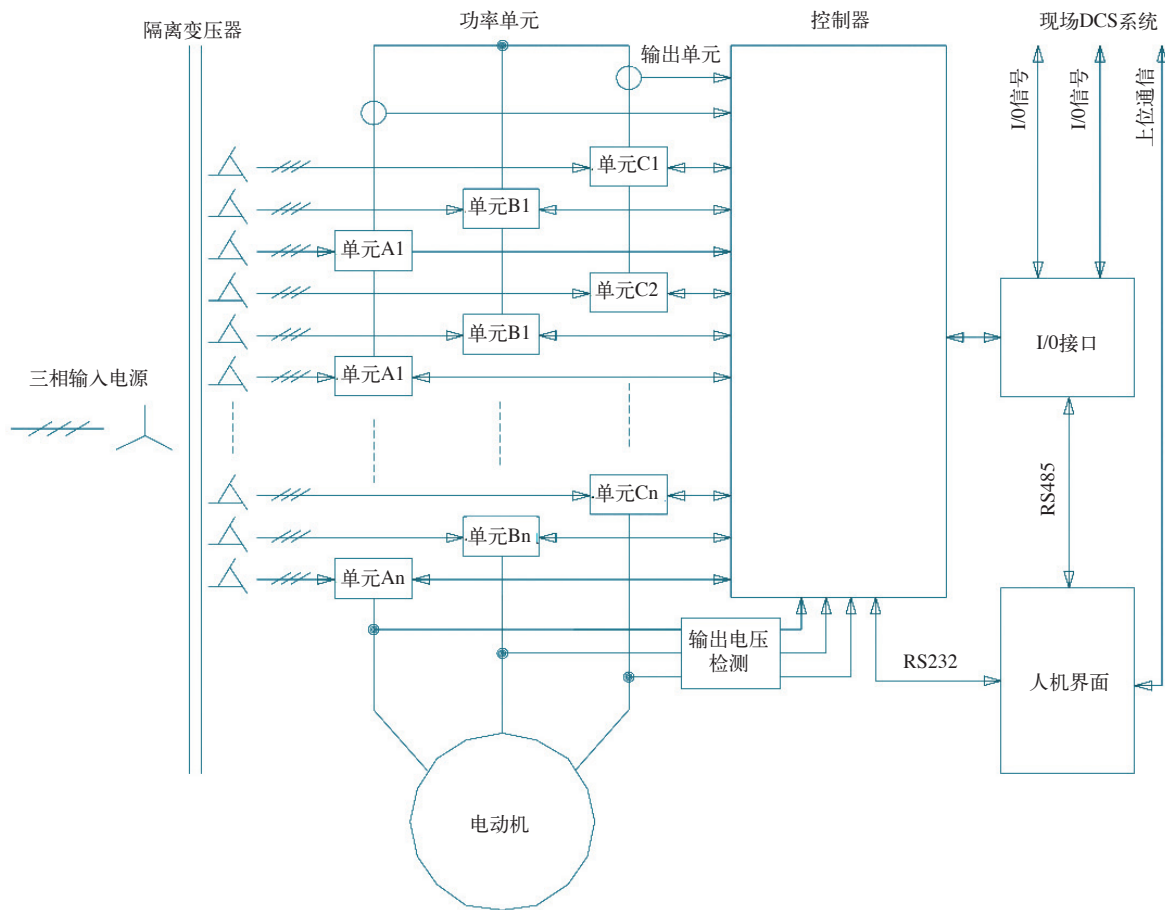


图2 HIVERV高压变频器控制系统图

表7 2#炉送、引风机对比数据

改造前数据		改造后数据		节电分析			
引风机单耗 / (kW·h/t)	送风机单耗 / (kW·h/t)	引风机单耗 / (kW·h/t)	送风机单耗 / (kW·h/t)	引风机单耗下降 / (kW·h/t)	送风机单耗下降 / (kW·h/t)	引风机风电 / (kW·h)	送风机风电 / (kW·h)
2.24	1.90	1.38	1.18	0.86	0.71	127 839	105 932

由上表可知,送、引风机高压变频器改造后较同期每月节约用电23.3万 kW·h (节电量按单耗下降值与蒸发量乘积来计算,蒸发量取小值), 2#炉引风机单耗下降0.86 kW·h/t, 2#炉送风机单耗下降0.71 kW·h/t, 厂用电率约下降0.31%, 全年折算节约280万kW·h。

高压变频器在送、引风机上应用总结

(1) 2#炉送、引风机高压变频器总投资约135万元, 每月为公司节约11.65万元, 上网电价按0.5元/kW·h计算, 预计12个月左右收回成本, 节能效果非常明显。

1. 把握高压变频器抵抗电网干扰能力
- 当雷雨天时最可能发生电网电压波动, 对高压变频器来说就存在一个“低电压穿越”难题。2#炉送、引风机使用的高压变频器有如下功能:
- 1) 当系统电压在额定电压的115%至80% (含) 时, 高压变频器可正常输出, 不受影响。
- 2) 当系统电压在额定电压的80%至60% (含) 时, 高压变频器电流输出会增加, 此时高压变频器可配合“限流功能”(限流系数可参数调整), 自动降低转速, 降低输出功率, 当负载为风机类负载时, 此功能能发挥更好的效果, 高压变频器可以借助负载侧的能量回灌的功能, 使高压变频器在短时间内维持运行而不跳闸。
- 3) 当系统电压在额定电压的60%以下时, 如果持续时间不超过1 s, 高压变频器的“瞬时停电功能”起动, 在极短时间内调整IGBT触发角度, 瞬时将电动机由原来的拖动状态变化到再生状态, 使负载的能力回灌到高压变频器中, 高压变频器可借此能量在0~1 000 ms内正常运行而不会跳闸保护。
- 4) 当系统电压在额定电压的60%以下时, 如果持续时间超过1~99 s内, 高压变频器可配合“高压失电自起动”功能, 使高压变频器处于静默状态, 不发任何故障信号, 如果高压在1~99 s送电正常, 高压变频器仍然按照原有的控制方

- 式运行, 并且高压变频器自动检测电动机的转速, 并按照电动机的转速自动运行到相应的运行频率上。
- 5) 在经历多次外网电压波动情况, 2#炉送、引风机高压变频器均通过了考验。
- (3) 严格控制高压变频器的运行环境
- 2#炉送、引风机高压变频器均采用外循环方式。高压变频器“三分靠修理, 七分靠保养”, 对环境的要求比较严格。
- 1) 在高压变频器小室设计的时候就将高压变频器入口尽量扩大, 装设空气初效过滤棉, 并执行高压变频器小室滤网15天更换一次, 高压变频器本体滤网30天更换一次。
- 2) 高压变频器小室出风风道略微朝下安装, 防止雨水倒灌, 同时避开进风口, 防止热空气短路。
- 3) 高压变频器小室定期清扫, 小室内部装设空调, 当环境温度高时, 起动空调强制除湿冷却。
- 4) 高压变频器长时间停用后再起动, 要求通风机运行15分钟以后才能起动高压变频器, 这样做可以提前发现冷却系统缺陷, 让高压变频器内部储能元件得到缓冲, 还可以吸出高压变频器内部的潮气, 提高变频器的使用寿命。
- (4) 2#炉引风机成功实现自动控制:
- 2#炉引风机将炉膛压力的平均值作为跟踪量, 通过PID调节自动调节引风机的转速。对炉膛压力信号加阻尼, 优化PID调节模型中的微积分系数, 成功解决了炉膛压力控制不稳定的难题。
- 通过高压变频器改造后, 电气专业再也不需要在异常工况下对引风机电动机进行变级作业, 提高了系统和人员的安全可靠系数。
- 在对2#炉引风机进行高压变频器改造的同时, 机务对2#锅炉空预器进行了清洗, 2#炉风烟系统阻力减轻后对引风机单耗下降也有较大的帮助。EA

(收稿日期: 2016.06.18)
(编辑: 白文亭)