

国产高压变频器在大功率给水泵电机使用中节能效果分析及运行出现问题的研究

朱永跃

(仪征化纤热电生产中心电气装置, 江苏 仪征 211900)

摘 要: 本文介绍了仪化热电生产中心#6 给水泵在使用大功率变频器在安装、运行、使用过程中出现的问题及对策, 总结了#6 给水泵改为变频调节后节能降耗的效果, 以供有关单位今后在对大容量电机进行变频、调速改造借鉴。

关键词: 高压变频器; 调速; 定速; #6 给水泵; 电机

0 引言

如何降低发电厂厂用电率, 降低发电成本, 提高电价竞争力, 已成为各电厂努力追求的最终目标。变频调速在我们国家属于节能新兴产业, 近几年在发电厂得以大量使用, 而由于高压变频器使用在高压电机上, 存在设备选型和方案设计难度大、工况运行较复杂, 所以一般只应用在发电厂小负载, 要求运行平稳的引风机、送风机上, 而将高压变频器运用在发电厂给水系统设备上, 属刚刚起步阶段。

仪征化纤是中石化控股的特大型化纤企业, 所属热电生产中心负责向仪征化纤股份公司各分厂提供动力电源及高、中、低压蒸汽, 热电生产中心总装机容量 240 MW (4 台 60MW 发电机组), 6 台 220t/h 锅炉, 发电机、汽轮机、锅炉为中心的三大主设备, 给水泵是连续向锅炉提供高压、高温水共燃烧产生蒸汽的主要设备。中心共有 6 台给水泵, #1、#2、#3、#5 给水泵电机 (定速泵) 额定容量 2000 kW, #4 给水泵电机 (液力耦合器调速泵) 额定容量 2300kW, #6 给水泵电机 (定速泵) 额定容量 2250kW。由于股份公司公司各分厂自用蒸汽都由热电生产中心提供, 蒸汽负荷变动剧烈, 相应的给水系统的必须随时随地随着锅炉蒸汽进行调节, 要求有具有较大的调节范围和富裕度。中心自投产以来二十多年时间内, 一直采用给水系统采用母管制, 在母管制给水系统中装设一台调速泵, 使之与定速泵并联运行, 对给水系统的负荷增减进行调节, 来维持给水母管压力。

即多台定速泵加一台#4 调速泵投入运行, 由于经过二十多年运行, #4 给水泵老化严重, 投入率一直较低, 所以大部分时间调速泵无法投入运行, 为保证安全, 提高运行安全系数, 只能依靠增加运行定速泵台数提高来富裕度来满足给水系统安全需求, 使用三台或多台定速泵投入运行, 由于给水泵系高转速、大容量厂用电大户设备之一, 一般占到热电中心厂用总容量的 30% 以上。多增加的定速泵长期连续并经常处于低负荷运行状态, 消耗了大量的厂用电, 改造其中一台定速泵为调速泵, 随时随地进行给水负载调节将节约大量厂用自用电, 经过长时间调研, 2011 年 6 月中心决定对#6 给水泵 (定速泵) 进行变频技术改造, 决定选用深圳市英威腾电气股份有限公司生产的 CHH100 型高压变频器 (下称变频器) 经过近一年的运行, 安全、节能效果显著, 提高了给水系统地稳定和经济性。

本文对#6 给水泵电机在变频器设计、安装、运行过程中遇到的常见问题, 及解决方法进行了阐述总结, 供有关方面参考:

1 现代技术电动机调速的几种方法及优缺点分析

我中心#6 给水泵原为三相笼式转子的定速异步电动机。

特点: 三相笼式转子的异步电动机结构简单、运行可靠、重量轻、价格便宜, 得到了广泛的应用, 缺点: 功率因数滞后, 轻载功率因数低, 调速性能稍差, 当三相笼式异步电机接入三相交流电源 (各

相差 120° 电角度)时,三相定子绕组将流过三相对称电流产生的三相磁动势(定子旋转磁动势)并产生旋转磁场,该磁场以同步转速 n_0 沿定子和转子内圆空间作顺时针方向旋转,转速为 n_0 ,三相异步电动机转速公式为: $n=60f/p(1-s)$,从上式可见,改变供电频率 f 、电动机的极对数 p 及转差率 s 均可达到改变转速的目的。

实际运行中的调速方法有绕线式电动机的转子串电阻调速、串级调速以及应用电磁转差离合器、液力耦合器等调速方法。从调速时的能耗观点来看,有高效调速方法与低效调速方法两种。高效调速指时转差率不变,因此也叫无转差损耗,如多速电动机、变频调速以及能将转差损耗回收的调速方法(如串级调速等)。有转差损耗的调速方法一般用于风机上。

我中心#4给水泵采用液力耦合器调速方法。液力耦合器是一种液力传动装置,一般由泵轮和涡轮组成,将其放在密封壳体中。壳中充进一定的工作液体,当泵轮在原动机带动下旋转时,处于其中的液体受叶片推动而旋转,在离心力作用下沿着泵轮外环进进涡轮时,就在同一转向上给涡轮叶片以推力,使其带动生产机械运转。液力耦合器的动力传输能力与壳内相对充液量的大小是一致的,改变充液率就可以改变耦合器的涡轮转速,作到无级调速,偶合调速缺点:能量损耗在液力耦合器的油中。

而将高压变频器运用在发电厂给水系统设备上,属于刚刚起步阶段。变频调速方法:变频调速是改变电动机定子电源的频率,从而改变其同步转速的调速方法。变频调速系统主要设备是提供变频电源的变频器,变频器可分成交流一直流一交流变频器和交流一交流变频器两大类,目前国内大都使用交一直一交变频器。其特点:效率高,调速过程中没有附加损耗;应用范围广,一般用于笼型异步电动机;调速范围大,特性硬,精度高;技术复杂,造价高,维护检验困难。本方法适用于要求精度高、调速性能较好场合,一般用于风机、水泵调速等。

随着电子技术、自动控制技术的发展,电气传动技术正经历着比较大的革新,采用变频器具有显著节能效果,即在不更换主机设备的情况下,仅改变速度就可取得平均节电 30% 的效果,从调速效果看,变频调速技术是最好的调速技术,它的调速范围最宽,可达到 100%~5%,调速精度最高,可

达到 $\pm 0.5\%$ 。因此,在节能减排的政策推动下,国内高压变频器市场将持续出现高增长态势特别是在当今面临能源危机的条件下,节能降耗不仅有近期的直接经济效益,更有长远的社会效益,其特点为:控制调节方便,轻易实现自动控制。

2 我中心#6 给水泵改造依据分析

2.1 给水系统概况

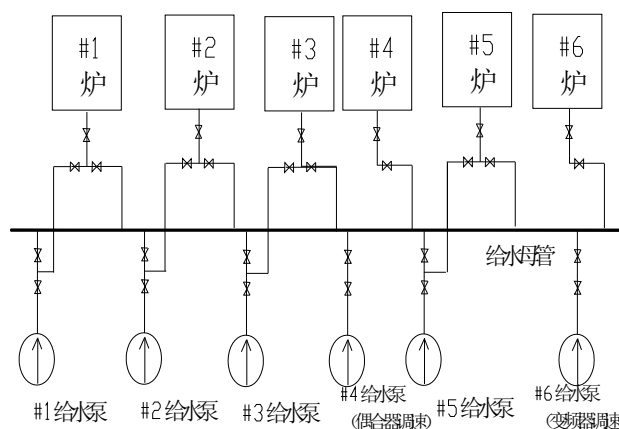


图1 仪化热电生产中心给水系统图

仪化热电生产中心给水泵系统见图1,共有6台给水泵,其中#1、#2、#3、#5、#6为定速泵,#4号偶合器调速给水泵。

2.2 #6 给水泵改造前运行工况

以下为热电生产中心2011年2月2号运行工况:4台锅炉、3台给水泵、3台发电机运行,锅炉总蒸发量826.65 t/h,总有功负荷150MW左右。

#1泵流量320 t/h、电流206A,温度61.9℃;

#2泵流量320 t/h,电流210A,温度55.6℃;

老式#6给水泵正常电流240A左右变动,流量188.05 t/h左右变动;

给水母管压力12.78-11.88MPa。

改造前统计运行参数见表1。

表1 仪化热电生产中心给水系统改造前统计运行参数

项目	运行泵	时间	总发电量 (/万 kWh)	总厂用	给水泵总	给水泵占
				电量 (/万 kWh)	用电量 (/万 kWh)	总发电量 百分数/%
#6 给水泵 改造前	#1、#3、 #6 给水 泵运行	2011 年 2 月 2 日.	424.4	44.36	13.2281	0.03116

2.3 #6 给水泵改造后

以下为热电生产中心2012年1月28号运行工况:4台锅炉、3台给水泵、3台发电机运行,锅炉

总蒸发量 833 t/h，总有功负荷 152MW 左右。

- #1 泵流量 320t/h、电流 206A，温度 61.9℃
- #2 泵流量 320t/h，电流 210A，温度 55.6℃，改造后运行参数见表 2。

表 2 仪化热电生产中心给水系统改造后运行参数

项目	运行泵	时间	总发电量 (万 kWh)	总厂用电 量 (万 kWh)	给水泵总 用电量 (万 kWh)	给水泵占 总发电量 百分数/%
#6 给水 改造后	#1、#3、 #6 给水 泵运行	2012 年 1 月 28 日.	411.9	41.98	12.1228	0.02943

#6 新泵输入电流 96A ，转速 2568，给水泵变频器电流 132.1A，
给水母管压力 12.78-11.88MPa
根据热电生产中心总负荷接近相当的情况下每日节省的电量统计：

- 13.2281-12.1228=1.1052 万 kWh
- 按 0.45 元/kWh 计算：
- 每日节省 1.1052×0.45 =495 元
- 每月节省 495×30=1.4850 万元
- 每年节省 14850×12 =17.82 万元

3 我中心#6 给水泵变频器概况、原理接线图

#6 给水泵高压电动机使用变频器型号规格：CHH100-2240-06，6kV，2240kW，50Hz，深圳市英威腾电气股份有限公司生产。变频器组成：主要由移相变压器（柜）、功率单元（柜）、控制柜及手动旁路柜（下称旁路柜）组成。图 2 为布置图。

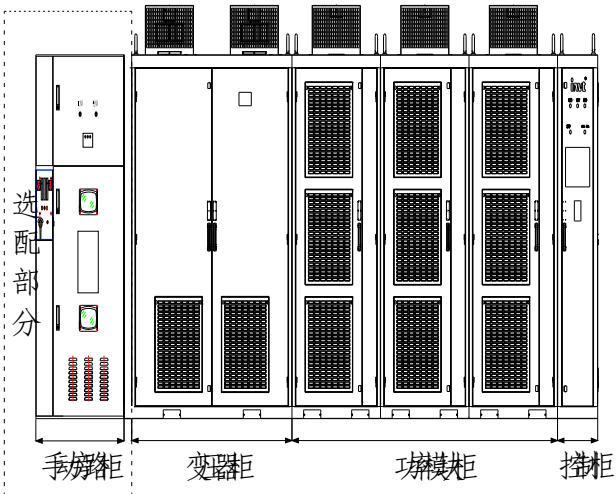


图 2 #6 给水泵变频器布置图

4 #6 给水泵使用高压变频器时遇到的问题

4.1 CHH100 型高压变频器本身自重较大

高压变频器及其输入变压器的质量可能多达 2.5t，因此尽量布置在 0 m 层，如布置在配电间（6kV 配电间楼板的平均设计荷载为 800 kg/m²）则尽量使承重点放在梁上，并提请土建专业人员注意，我中心新建了配电房。

4.2 变频部分无法使用时，如何保证设备工频运行

#6 给水泵变频改造考虑了工频/变频切换回路。
#6 给水泵原理接线图见图 3。

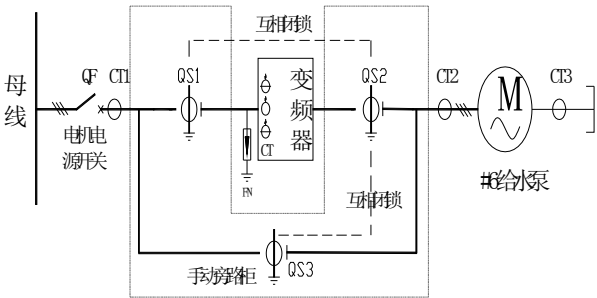


图 3 #6 给水泵原理接线图

电源由厂用电母线经电厂原有高压断路器 QF 后送至高压变频器，变频器将电能变换频率后直接驱动电动机，即将#6 给水泵变频器进线刀闸 QS1、#6 给水泵变频器出线刀闸 QS2，将#6 给水泵变频器旁路刀闸 QS3 拉开，将转盘切至该位置后上锁，即变频频方式，此时将闭锁上诉刀闸的操作功能。

将#6 给水泵变频器出线刀闸 QS2 和#6 给水泵变频器进线刀闸 QS1 拉开，将#6 给水泵变频器旁路刀闸 QS3 合上后，将转盘切至该位置后上锁，即将运行方式转变为工频方式。

4.3 电压变化或突然失电对变频器影响

原电动机装设的低电压保护在高压厂用母线电压低于正常电压的 65%～70% 以下或电动机在电源消失 9 s 后才跳闸，如 9 s 内电源恢复应能自起动。但#6 给水泵加装变频器后，当输入电压低于正常电压（6kV）的 30% 时，变频器将会自动停止运行，需要复位后再起动，这和#6 给水泵原先的使用特性存在差异，在设计、有关运行过程中须特别关注，应对有关#6 给水泵操作规程加以修改。

4.4 变频器改造后#6 给水泵差动保护需做相应变动

原先#6 给水泵装设南京南瑞继保电气有限公司生产 WCA-1 型差动保护和 WDW-1.1B 速断过流

保护。由于加装变频器后，（见图 3）原先保护装置已不能实现差动及后备等保护功能，变频器前后电流、电压均发生了变化。对此我们在电机一次侧前面加装 CT2，由 CT2 与 CT3 构成差电流保护功能（差动）。用南京南瑞继电电气有限公司生产的 RCS-9627CN 高压变频电动机差动保护测控装置替换原来的 WCA-1 型差动保护装置（RCS-9627CN 高压变频电动机保护测控装置。

#6 给水泵开关柜内原 CT 即 CT1 专供 WDW-1.1B 保护装置速断过流保护使用。

4.5 #6 给水泵变频器温度控制

#6 给水泵高压变频器柜内的干式整流变压器采用 LD-B10-10E 干式变压器温度控制器进行温度监视和控制。主要功能 A、变压器风机运行监视功能，B、干式变压器超温报警功能，C、干式变压器超温跳闸功能。现场运行中由于高压变频器电压高、容量大，变频器、干式变压器极易超温跳闸，#6 给水泵变频器室使用 4 台空调也还是造成超温 跳闸，经和变频器厂家沟通，我中心在变频器顶部装设的专用通风通道，由于变压器和变频器的散热量大，应用管道将热风引到室外（我中心环境正常温度在 0~40℃）。这点希望厂家在今后设备制造过程中特别注意。变频器要求环境温度为 0~40℃，当可能出现 0℃以下的情况时，应考虑增加加热器。

5 变频器日常巡检需要注意事项

(1) 认真监视并记录变频机器人界面各显示参数，发现异常应即时反映。

(2) 认真监视并记录变频室的环境温度，环境温度应在-5℃~40℃之间。移相变压器的温升不能超过 130℃。

(3) 夏季温度较高时，应加强变频器安装场地的通风散热。确保周围空气中不含有过量的尘埃，酸、盐、腐蚀性、爆炸性气体。

(4) 夏季是多雨季节，应防止雨水进入变频器内部（例如雨水顺风道出口进入）。

(5) 变频器柜门上的过滤网通常每周应清扫一次；如工作环境灰尘较多，清扫间隔还应根据实际情况缩短。

(6) 变频器正常运行中，一张标准厚度的 A4 纸应能牢固的吸附在柜门进风口过滤网上。

(7) 变频室必须保持干净整洁，应根据现场实

际情况随时清扫。

(8) 变频室的通风、照明必须良好，通风散热设备（空调、通风扇等）能够正常运转。

6 #6 给水泵变频器运行中常见的故障及处理日常方法

见表 3。

表 3 #6 给水泵变频器运行中常见的故障及处理日常方法

告警现象	可能的原因	处理方法及对策
加速运行过电流	1.加速太快 2.电网电压偏低	1.增大加速时间 2.检查输入电源
减速运行过电流	1.减速太快 2.负载惯性转矩大	1. 增大减速时间
恒速运行过电流	1.负载发生突变或异常 2.电网电压偏低	1.检查负载或减小负载的突变 2.检查输入电源系统
电机过载	1.电网电压过低 2.电机额定电流设置不正确 3.电机堵转或负载突变过大	1.检查电网电压 2.重新设置电机额定电流 3.检查负载，调节转矩提升量
加速运行过电压	1.输入电压异常 2.瞬间停电后，对旋转中电机实施再启动	11.检查输入电源 2.避免停机再启动
减速运行过电压	1.减速太快 2.负载惯量大 3.输入电压异常	1.增加减速时间 2.检查输入电源
恒速运行过电压	1.输入电压发生异常变动 2.负载惯量大	1.选用功率大一档的变频调速系统
电网欠压	1. 电网电压偏低	1. 检查电网输入电源
变频调速系统过载	1.加速太快；2.对旋转中的电机实施再启动；3.电网电压过低；4.负载过大	1.增大加速时间 2.避免停机再启动 3.检查电网电压
输出侧缺相	1.U, V, W 缺相输出(或负载三相严重不对称) 1.变压器负载过高。2.环境温度过高。3.温控仪故障。 4.变频器的冷却回路故障。 5.保护电路的线路受干扰。 6.控制电缆的屏蔽未正确接地	1.检查输出配线 2.检查电机及电缆 1.检查外部信号回路线路及其电缆的屏蔽没有正确接地。 2.检查变压器负载和环境温度与额定值相比较(做好记录)。 3.检查控制电缆的屏蔽是否正确接地 确保电网电压在额定电压的+10/-15%之内
移相变压器过热	1.主控制电源供电掉电，或者没有插好。 2.控制柜主控制电源开关(Q1)未闭合 3.控制柜主控制电源反馈继电器(K7)故障	1.检查外部信号回路线路及其电缆的屏蔽没有正确接地。 2.检查变压器负载和环境温度与额定值相比较(做好记录)。 3.检查控制电缆的屏蔽是否正确接地。 4.检查温控仪及其线路。 1.检查主控供电电源系统，确保有电并且排插插好。 2.检查并确保主控制电源开关 Q1 已经闭合 3.检查主控制电源反馈继电器(K7)是否正常工作，如果不正常工作更换继电器 4.联系厂家
主控制电源掉电	1.主控制电源供电掉电，或者没有插好。 2.控制柜主控制电源开关(Q2)未闭合 3.控制柜备用控制电源反馈继电器(K8)故障	1.检查备用控制供电电源系统，确保有电并且排插插好。 2.检查并确保备用控制电源开关 Q2 已经闭合 3.检查备用控制电源反馈继电器(K8)是否正常工作，如果不正常工作更换继电器 4. 联系厂家
备用控制电源掉电	1.备用控制电源供电掉电，或者没有插好。 2.控制柜备用控制电源开关(Q2)未闭合 3.控制柜备用控制电源反馈继电器(K8)故障	1.检查备用控制供电电源系统，确保有电并且排插插好。 2.检查并确保备用控制电源开关 Q2 已经闭合 3.检查备用控制电源反馈继电器(K8)是否正常工作，如果不正常工作更换继电器 4. 联系厂家

7 结束语

火电厂风机、水泵所消耗的能源占中心用电的 1/3 以上。变频调速技术作为一项有效、先进的节能技术,在给水中应用并不常见。加快转变经济增长方式,推动循环经济发展,缓解资源瓶颈制约是当前一项刻不容缓的任务,希望本文能给准备对发电厂给水系统进行变频调速改造方面的单位有所借鉴。

参考文献:

- [1] 倚鹏.高压大功率变频器技术原理与应用(第 1 版)[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [2] 徐甫荣.高压变频调速技术应用实践(第 1 版)[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [3] CHH100 型高压变频器产品说明书 [Z].
- [4] 杨余彪. 仪化热电生产中心电气运行规程[Z].