

浅谈利用变频技术对给水泵电机的节能改造及综合效益分析

周 建, 孙明峰, 于海洋, 夏 巍

(华能金陵燃机热电有限公司, 江苏 南京 210034)

摘 要: 本文通过对给水泵电机的变频改造分析, 利用变频器实现给水泵软启动及优化给水泵运行既降低了企业发电运行成本, 又使运行方式得到了优化, 还提高了机组经济性。

关键词: 给水泵电机; 变频器; 节能; 技术改造; 软启动

0 前言

节约能源是国家可持续发展的战略决策, 也是发电企业提高企业核心竞争力的必由之路, 发电企业发电过程的成本控制成为了影响企业发展的关键, 作为现代电厂成本控制的关键, 提高设备的可靠性、降低厂用电率是实现电厂降低成本、提高市场竞争力的基础。给水泵作为联合循环机组中能耗较大的辅助设备, 降低其用电量对有效降低厂用电率有重要的意义, 本文就利用变频技术对给水泵的节能改造进行简要论述。

1 给水泵运行情况的分析

华能金陵燃机热电有限公司有两套S109FA 燃气--蒸汽联合循环发电机组, 每套机组配置 2 台给水泵, 1 台运行, 另 1 台作为备用, 两台给水泵互为连锁。给水泵电机额定功率为 2240kW, 额定电流 245.4 A, 额定电压 6000 V, 频率 50 Hz; 泵组采用多级立式离心泵, 轴功率 1772 kW, 转速 2985 r/min, 流量高压 311m³/h, 中压 78 m³/h。给水泵配置的电机功率相对水泵轴功率而言, 略偏大, 因而完全可满足联合循环机组的运行需求。

给水泵采用定速运行且高、中压合泵。给水泵第 3 级后抽出的工质成为中压给水, 进入中压省煤器, 中压给水在中压省煤器中加热到接近饱和温度后, 一部分去天然气性能加热器, 一部分进入中压汽包。中压汽包中的水由下降管进入中压蒸发器, 加热后成为汽水混合物回到汽包, 在汽包内的分离器中进行汽水分离。分离出来的水回到汽包的水空间, 饱和蒸汽则通过饱和蒸汽引出管送到中压过热器, 继续被加热成为过热蒸汽, 与高压缸排汽(冷

再蒸汽)混合后, 进入再热器 1 加热, 出口蒸汽经过再热器减温器, 由中压给水来的减温水调节温度后进入再热器 2, 温度进一步提高后, 进入汽机中压缸中做功。给水泵出口工质为高压给水, 依次经过 7 级高压省煤器进入高压汽包。高压汽包中的水由下降管进入高压蒸发器, 加热后成为汽水混合物回到汽包, 在汽包内的分离器中进行汽水分离。分离出来的水回到汽包的水空间, 饱和蒸汽经过饱和蒸汽引出管被依次送到高压过热器 1、2 加热, 出口蒸汽经过高压蒸汽减温器, 由高压给水来的减温水调节温度后再依次送入高压过热器 3、4 内继续加热, 温度进一步提高后, 进入汽机高压缸做功。为防止机组低负荷运行时给水泵汽蚀, 还设计有给水再循环管路。

在正常运行状态下, 给水泵工频运行, 高、中汽包给水调门根据汽包水位设定值自动水位, 给水泵是通过调节给水调节阀门的开度来实现水位的调节与控制。但是由于这一控制方式节流损失较大、控制阀门为机械调整结构, 调节品质差。在实际运行中, 经常由于高、中压汽包上水调整门的调节特性所限, 容易出现各种故障, 使现场维护量增加, 且存在着出口压力高、容易造成管路损坏等问题。从配套电机参数中可知, 给水泵是利用大功率马达来带动小水泵来工作, 长期运行中受调节控制方式的限制, 这一方式下的系统效率低下, 极易造成电机老化和能源的浪费, 并且大功率电机直接启动, 启动电流过大易造成设备启动瞬间损坏(该厂投产至今发生 9 次给水泵启动瞬间电机损坏事故), 在现代节能减排、降低成本经营管理理念的指导下, 这种控制方式已经不能满足企业生产的需求。因此, 采用变频控制技术进行给水泵的技术改造, 以此实

现给水泵电机软启动及节能降耗的目的势在必行。

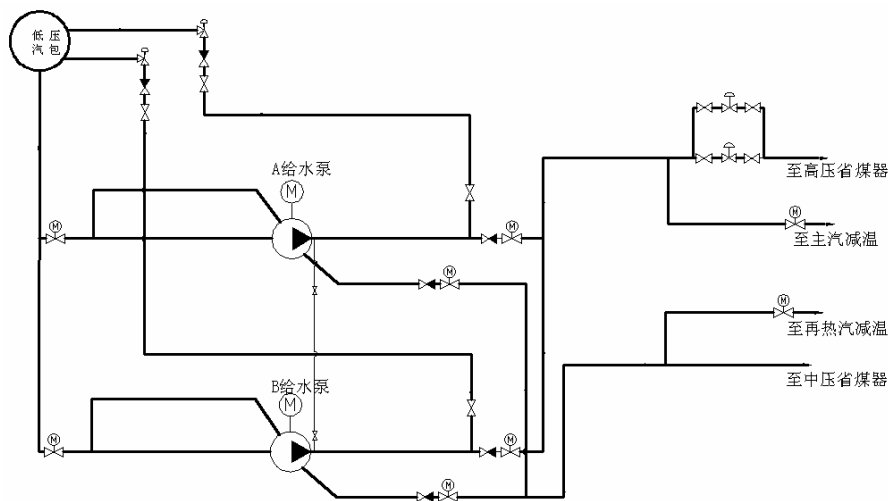


图 1 给水泵系统流程图

2 给水泵节能改造的分析

新型的变频控制技术是将传统控制阀门全开，以变频技术实现对给水泵电动机转速的控制，以此达到调节给水泵出口压力、流量的目的。变频控制技术能够减少传统调节方式对管路的影响，以变频调速方式提高给水泵的运行可靠性。而且，以变频控制技术进行给水泵的调节还能够极大地提高调节速度。通过变频技术减少了能源的消耗，达到节能改造的目的。变频调速技术作为 20 世纪 90 年代迅速发展起来的一项集电力电子、电机拖动和自动控制于一体的高新电力传动技术，以其优越的调速性能、显著的节能效果、完善的保护功能及易与 DCS 接口等特点成为给水泵调速方式改造的首选方案。

2.1 变频节能工作原理

根据泵与风机的流体力学知识可知，流量与转速成正比，扬程与转速平方成正比，输出功率与转速立方成正比。调节电机转速即可改变水泵的特性曲线，从而得到期望的流量和压力，当水泵效率一定时，给水泵转速降低，电机输出功率按三次方递减。异步电机转速 n 与电源频率 f 、转差率 s 及磁极对数 p 有如下关系： $n = 60 f(1-s) / p$ ，电机带负载运行时，转差率随负载变化而略微变化，可近似认为电机转速与电源频率呈线性关系，改变电源频率即可改变电机转速。异步电机调速时需考虑的一个重要因素是磁通量 Φ_m 。若减弱磁通，电机铁心没有被充分利用，同样电流产生的转矩小，是一种浪费；若增大磁通，又会使铁芯饱和，一方面定子电流中

励磁电流分量增大，严重时会使绕组过热而损坏电机；另一方面转矩电流分量减少，电机功率因数降低，因此希望磁通量为额定值不变。三相异步电机中的磁通是定子和转子磁势合成产生的，定子每相感应电动势的有效值是： $E = 4.44 f N K_N \Phi_m$ 从上式可知，只要控制好 E 和 f ，便可达到控制磁通的目的（这里只需考虑基频即额定频率以下的情况）。要保持 Φ_m 不变，当频率从额定值 f_n 向下调节时，必须同时降低 E ，使 $E/f = \text{常数}$ ，即恒电动势频率比控制方式，但 E 难以直接控制，当 E 较高时，定子绕组的漏磁阻抗压降可以忽略，近似认为定子相电压 $U = E$ ，从而得到 $U/f = \text{常数}$ ，即恒压频比控制方式。变频器利用电力电子器件的通断，将工频电源变换为另一频率、电压均可控的电源供给电机，频率可控即电机转速可控，从而达到节能调速的目的。

2.2 变频改造方案与实施

通过对给水泵及配套电机主要技术参数和给水系统运行情况的研究分析，决定采用一拖二手动工/变频切换的电气控制方案。改造利用现有设备，在原 6kV 开关室内加装 1 台共用的变频器，正常运行时，变频器带动 1 台给水泵运行，另 1 台给水泵处于工频备用状态，当变频器跳闸后，备用泵立即工频联启，无扰切换，以保证高、中压汽包给水的稳定。该方案可满足给水泵定期轮换制度的要求，提高变频器的利用率。采用一拖二的控制方式可以避免当供电系统出现电压低等影响变频器的正常工作时，可快速切换到工频状态下的备泵投入运行，从而保证机组设备的正常连续运行。

变频改造方案是两台给水泵电机控制配置 1 台北京利德华福 (Harvest) 电气技术有限公司生产的水泵专用变频器, 该专用变频器是引进德国施耐德先进技术精心设计制造而成, 符合国际电气标准。变频改造后采用变频技术接受 4~20mA 控制信号调整给水泵电动机的转速, 达到改变给水泵出口压力、流量的目的。该系统消除了因管路孔口变化造成的压流损失, 可靠性好, 调节方便, 节约能源, 控制系统能很好地满足生产工艺要求, 同时实现给水泵电机软启动。改造后的#1 给水泵电源进线连接原#1 给水泵开关柜出线, #2 给水泵电源进线连接原#2 给水泵开关柜出线; 控制电源由机组 400V GT/ST-MCC 电源供电。其电气原理图如图 2 所示。

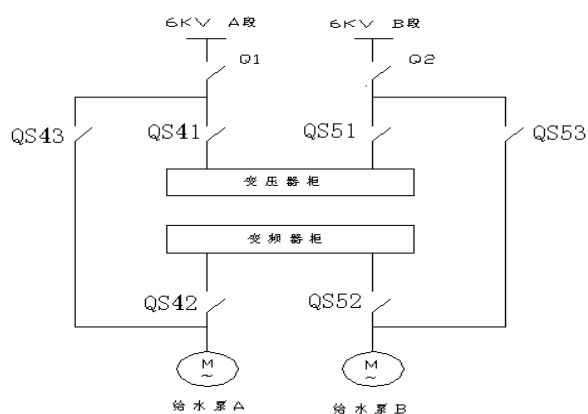


图 2 给水泵变频改造后原理图

3 给水泵变频改造后的运行情况分析

给水泵经过变频改造后, 电机变频启动时, 电流从零开始, 随着转速增加平稳上升, 因而变频启动消除了大启动电流对电气设备和热力设备的冲击应力, 防止了由冲击电流引起母线电压下降导致的其它设备运行异常事件的发生, 避免了电机启动瞬间过流损坏事故。变频运行时, 电机转速均在额定转速以下, 机械磨损和振动减小, 轴瓦温度降低, 轴承寿命延长。

为了更好地利用变频器来控制给水泵的运行, 要结合联合循环机组的启动特性来设定变频器的启动曲线。机组启动、停止过程中可以将给水泵的电机转速控制在某一值 (只要将频率设定在某一值如 40Hz), 采用上水门调节, 不但保证了给水泵的出口压力, 使高、中压汽包的水位稳定, 也保证了主再热蒸汽减温水及中压省煤器出水压力的要求。

机组在正常运行中, 可以将变频器的控制选择到“手动”控制, 变频器设定值为 45 Hz, 高、中压汽包给水调门自动根据水位调节。如表一是给水泵电机不同工况下的运行参数。另外, 由于给水泵变频控制是采用一拖二的方式, 在正常运行时只能将主泵 (如 #1 号泵) 设为变频控制方式, 备泵 (如 #2 泵) 只能设为工频控制方式, 主/备泵可投“自动”投“连锁”, 当变频主泵出现故障时可以连锁启动工频“备泵”, 实现无扰切换, 以保证高、中压汽包水位的运行需求, 达到安全、稳定、经济运行的目的。

4 高、中压合泵几点问题

(1) 由于给水泵是高、中压合泵, 而查阅其它电厂进行变频或者调速改造的电机, 一般都是单泵系统。给水泵调速改造的最好节能效果是使高压给水调门和中压给水调门基本全开, 依靠给水泵调速来调节高、中压包的水位。但是由于给水泵是合泵, 因此, 不能达到以上效果。

(2) 由于 9F 联合循环机组的中压给水系统包含了一个分支, 就是中省出口取部分水用于天然气性能加热器。而天然气性能加热器的特点是为了保证联合循环机组的安全运行, 要求水压大于天然气的压力。性能加热器处的天然气压力 3.6MPa 左右, 考虑裕量, 这就要求给水泵中压抽头出口压力保证在 3.8MPa 以上。因此, 有了这个限制条件后, 给水泵节能就没有预期的理想效果。

(3) 由上面的分析, 给水泵变频改造, 给水泵调速运行过程中, 中压抽头压力保证在 3.8MPa 以上, 对于中压给水系统, 仍保持传统的调节方式, 通过中压给水调节阀调节中压汽包水位。而对于高压给水系统, 保持高压给水调门在较大开度维持不变, 通过给水泵调速调节高压汽包水位。这种方式一定程度上削弱了调速改造的节能效果。

(4) 给水泵变频改造后, 给水压头明显下降, 应考虑可能造成省煤器汽化问题。我厂目前运行中高压省煤器出口水温达 315℃, 中压省煤器出口水温达 205℃。对于中压系统, 由于给泵中间抽头压力在 3.6MPa 以上, 因此中压省煤器不存在汽化问题。对于高压省煤器, 为了防止汽化, 进入高压省煤器的给水压力必须在 10.5MPa 以上 (由于高中压合泵, 给泵中间抽头压力有最低限制, 对应的高压出口压力也能满足要求)。

5 给水泵电机改造后的节能效果

从表 1 中参数分析可知,给水泵电机工频运行,电机的工作电流在 214A,给水泵的出口流量在 260m³/h,给水泵出口压力 16MPa;而利用变频器控制给水泵,给水泵电机在正常工况下的运行电流在 150A 左右,给水泵的出口流量在 260m³/h,给泵出口压力 13MPa,可以满足高、中压汽包的水位及中压省煤器出水压力要求。经过变频控制后电机的有效功率降低了,而出口流量基本保持不变,改变了过去工频状态下“大马拉小车”的现象,节能降耗效果明显。

变频给水泵运行每小时约节约用电 305kWh。采用一拖二的变频控制方式,只需投入技改资金 120 万元,例如 2014 年#2 机组给水泵运行时间 3730.3 h,给水泵大约节约厂用电 113.8 万 kWh,按上网电价 0.606 元/kWh,增加收益 68.96 万元,不到 2 年即可以收回投资,经济效益显著。按标准煤折算,2014 年约节省了 13.98 万吨标准煤,减少 36.35 万吨二氧化碳排放。

表 1 给水泵工频与变频运行时参数

机组负荷 /MW	给泵电流 /A	给泵流量/(m³/h)		给泵出口压力/MPa		给泵功率 /kW
		高压	中压	高压	中压	
390 (工频)	214	260	45	16	5.5	1985
390 (变频)	150	260	45	13	4.3	1680

6 结束语

随着电力体制改革的深入和全国发电装机容量的大幅增加,电力紧缺的局面将随之消失,发电企业之间的竞争越来越激烈,在发电成本大幅上涨的严峻形势下,为提高电厂的竞争力,电厂选用一些节能潜力较大的设备实施节能降耗改造意义重

大。电厂给水泵电机实行变频改造后,节能降耗方面取得了明显的经济效益,同时也减少电机启动时电流冲击,延长了设备寿命,降低了检修维护成本约 15 万元/年,同时提高了系统稳定性、可靠性。通过给水泵电机变频控制节能技术的实现,为电厂技改、节能提供了活生生的良好例子,为电力生产企业的健康发展奠定了一定基础。

参考文献:

[1] 李芳芹,任建兴. 变频技术在电厂泵与风机系统中应用的节能分析[J].上海电力学院学报,2005(1).

[2] 张少强.给水泵变频控制技术概述[J].工业控制技术,2010(4).

[3] 常立国,杨鹏.关于电厂给水泵变频控制改造的探讨[J].电力科技资讯,2009(12).

[4] 张燕宾.变频调速 600 问(第 1 版)[M]. 北京:机械工业出版社,2012.

[5] 马小亮.高性能变频调速及其典型控制系统(第 1 版)[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

作者简介:

周 建（1982-），男，江苏盐城人，华能金陵燃机热电有限公司运行值长，从事燃气轮机运行管理工作；

孙明峰（1985-），男，山东滨州人，华能金陵燃机热电有限公司运行主值，从事燃气轮机运行工作；

于海洋（1986-），男，江苏盐城人，华能金陵燃机热电有限公司运行副值，从事燃气轮机运行工作；

夏 巍（1983-），男，江苏淮安人，华能金陵燃机热电有限公司运行副值，从事燃气轮机运行工作。