

高压变频技术在660MW燃煤机组凝结水泵的应用探讨

黄海标

(广东粤电集团有限公司沙角C电厂 广东东莞, 523936)

摘要: 本文通过对660MW燃煤大容量机组凝结水泵变频调节的研究, 结合目前国内高压变频器进行变频调速的原理, 总结了本厂应用国内高压变频器进行凝结水泵变频调节改造过程中遇到了一些问题及其解决的方法供相同项目改造时参考; 另外国内高压变频器的应用对于电厂节能降耗有很大的实际意义。

关键词: 高压变频器; 凝结水泵; 调节; 水位

Abstract: Through the research of frequency regulation for condensate pump of 660MW coal-fired large capacity units, combined with the principle of frequency conversion adjusting speed for domestic high-voltage inverter, some problem and its solution is summarized in the process of remolding frequency regulation of condensate pump using domestic high-voltage converter for the same project to reference. At the same time, the application of domestic high-voltage converter has great practical significance for energy consumption of power plant.

Key words: High-voltage converter ; Condensate pump ; Adjustment ; Level

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1001-9227(2011)02-0080-04

0 引言

沙角C电厂共有三台660MW进口燃煤机组, 每台机组配两台100%容量的凝结水泵, 凝结水泵电机额定功率为1600kW, 额定电压10kV。每台机组的除氧器水位依靠凝结水泵出口管路上的两个气动调节阀同时进行调节, 由于本厂机组是典型的调峰机组, 机组变负荷时, 除氧器水位调节阀频繁大幅度调节, 造成很大的节流损失。通过对除氧器水位调节方式的研究及保障凝结水管路用户安全的基础上提出了凝结水泵的变频调速方式, 除氧器水位的调节方式从原来的节流调节改变为凝结水泵的变频调速。

凝结水泵采用变频调速后, 既保证了原有除氧器水位调节功能, 又保障了凝结水用户的安全可靠供水, 另一个突出的作用则是大大降低了凝结水泵电机的电能消耗, 为电厂开展节能降耗工作探索出一条新途径。

1 高压变频器的工作原理

1.1 高压变频器的结构

高压变频器的基本结构由输入侧的移相变压器、功率单元及控制器组成, 本次凝结水泵变频改造最终选用北京利德华福电气技术有限公司生产的型号为HARSVERT-A10/120的高压变频器。变频器内部由二十七个相同的功率单元组成, 每九个串联组成一相, 变频器的结构原理图如图1所示。

本厂每台机组只把两台凝结水泵中的一台(A泵)改造为变频器调节, 为适应变频器故障而不影响凝结水泵的工频运行方式, 在高压变频器的高压侧设置旁路操作柜, 以适应变频器的转换操作, 增强了凝结水泵运行的灵活性及适应性。当变频器退出运行时, 通过转换QS1、QS2及QS3隔离刀闸来实现, 参见图2所示。

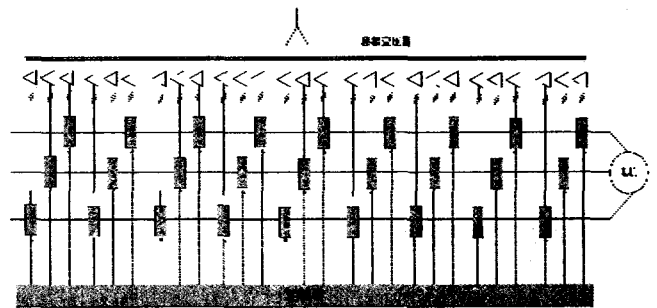


图1 变频器结构原理图

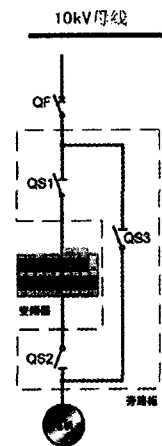


图2 变频器电气连接图

1.2 高压变频器的调速原理

电机的转速满足以下的关系式:

$$n = \frac{(1-s) \times 60f}{P} = n_0(1-s)$$

式中, n 为电机转速; n_0 为电机转速; P 为极对数; s 为滑差。

从上式中可知, 电机的同步转速 n_0 正比于电机的运行频

收稿日期: 2010-12-22

作者简介: 黄海标(1966-), 男, 工程师, 主要从事火力发电厂集控运行管理、安全管理工作。

率 f , 由于滑差 s 一般情况下比较小, 其值一般在 $0 \sim 0.05$ 之间, 因此电机的实际转速 n 近似等于电机的同步转速 n_0 , 通过改变电机的供电频率就可以改变电机的转速, 高压变频器也就是应用了这一基本原理来实现转速调节。

凝结水泵的高压变频器由二十七功率单元组成, 每相由九级串联而成, 主控制器的控制光信号经过光/电转换后送到控制器的信号处理器而产生IGBT的驱动信号来实现IGBT的通断控制, 从而获得相应的输出波形及实现频率调整。

2 凝结水泵变频改造中遇到的问题及问题的解决

在凝结水泵变频改造过程中, 由于凝结水泵采用变频调速方式运行, 原来除氧器水位调节方式及变频器故障后的工频旁路运行方式对除氧器水位的调节提出了新的要求, 凝结水系统简图如图3所示, 在改造过程中主要的问题及解决方法总结如下:

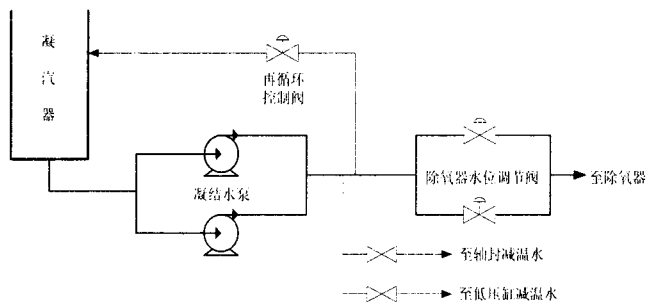


图3

2.1 水位调节方面的问题及解决方法

(1) 凝结水泵变频改造前原除氧器水位调节系统为单冲量控制, 在改为变频泵后, 增加一套除氧器水位单冲量调节系统, 在变频器运行方式下用该单冲量调节系统控制变频器转速调节除氧器水位。变频器运行, 工频泵在备用时, 由新增加的一套除氧器水位调节系统控制变频器转速来调节除氧器水位。该调节系统采用单冲量控制方式, 控制原理和CAD图基本与除氧器水位调节阀相同。

(2) 变频器运行, 工频泵备用时, 为减少节流, 除氧器水位调节阀通常保持在接近全开的位置, 在变频泵转速低时, 为防止凝结水泵出口母管压力过低, 在凝结水泵出口压力小于 2.0MPa 而大于 1.5MPa 时, 调节阀按一定的速率回关 5% (发脉冲信号)。如果凝结水母管压力在一分钟后仍低于 2.0MPa , 控制系统自动将转速调节回路切手动并将变频泵升至转速高限, 同时强制关闭除氧器水位调节阀至某一开度(50%), 然后将调门投自动, 同时发出报警信息通知运行人员。若变频泵转速已大于 95% , 母管压力仍低于 1.5MPa , 则联动工频泵。

(3) 凝结水泵再循环调整门是为了保证凝结水系统在低流量时凝结水泵在安全工作区内运行的, 该控制回路是一单回路PID调节, 被调量是凝结水流量, 设定值为 750T/h , 流量大于该设定值时, 逐渐关闭再循环调整门。在凝泵用工频方式时, 凝泵再循环隔离门打开, 用再循环调整门调节回路调节凝结水流量; 当凝结水泵采用变频调速后,

再循环截止门仍然保持打开, 再循环截止门控制逻辑维持原来的不变; 为防止泵体汽蚀, 设置一个最低转速(30Hz , 900转/分)。

(4) 变频泵和工频泵同时运行时, 闭锁变频泵转速自动, 用原来的除氧器水位调节系统控制除氧器水位调整门调节水位, 变频泵转速控制切手动并自动将转速按一定速率升至最大。

(5) 当运行的变频泵跳闸联锁启动工频泵时, 由于凝结水压力和流量突然增大, 为减少对除氧器水位造成大扰动, 当变频泵跳闸发出联启工频泵的指令时, 同时给出一个与机组负荷具有函数关系的超驰指令加到除氧器水位调整门, 将上水调整门按设定的速率关至一定位置, 当关门指令超过一定时间后, 除氧器上水调整门自动强制投入。

(6) 凝结水泵变频以后, 除氧器的水位由凝结水泵的转速来调整, 当凝结水泵的转速变化时, 引起凝结水母管压力的变化, 使用凝结水冷却的用户(如轴封减温水)的冷却水流量发生变化。低负荷时由于凝结水泵转速低, 有时会引起凝结水冷却的用户(如轴封减温水)的冷却水流量不足, 在低负荷时, 低温轴封的温度甚至已经超过了允许值的上限。必须在运行实践中对除氧器上水阀随机组负荷变化而进行的开度调节进行相应调整, 以满足凝结水冷却的用户冷却水流量的需求。

2.2 电气保护方面的问题及解决方法

(1) 变频或工频运行方式下, 原有的热工保护跳泵信号直接跳 10kV 开关, 在变频方式下还同时发指令跳变频器。

(2) 凝结水泵电机保护原来采用微机综合保护装置, 变频改造后原来电机的综合保护定值保持不变, 同时配合变频器本身的各类保护共同组成变频器组及高压电机的电气保护。

(3) 为防止变频器进行变频/工频方式转换操作时出现误操作, 在旁路操作柜的QS1、QS2及QS3隔离刀闸的操作上增加闭锁功能, 只有当其上一级 10kV 开关在检修位置时才能操作旁路操作柜的QS1、QS2及QS3隔离刀闸。

3 凝结水泵变频运行后的节能分析

凝结水泵变频改造的目的就是为了节能, 究竟节能多少, 我们先看看表1所列的数据, 从表1中比较清楚地看出在相同的负荷下, 凝结水泵变频运行时的电机工作电流明显比工频运行方式下的工作电流小得多, 其变化趋势图如图4所示。

从运行方式上来对比分析变频方式与工频方式下系统参数的变化情况, 从表1可知, 相同负荷下, 变频方式运行时, 凝结水泵出口压力比工频方式下的出口压力低, 特别是低负荷, 由于除氧器上水需求量的下降及除氧器工作压力的下降, 较低的凝结水泵出口压力就能保持除氧器正常水位, 而工频方式时由于泵转速不可调节, 尽管是低负荷也只能维持较高的凝结水出口压力及更大的水位调节阀的节流损失。

另一方面, 凝结水泵变频调速后大大改善了高压电

机的启动过程,变频器按预设升速率启动电机到最小转速900转/分(30Hz)。

表1 变频运行与工频运行方式下凝结水泵运行参数

| 机组负荷 (MW) | 变频运行 | | | 工频运行 | |
|--------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| | 凝泵转速(转/分) | 凝泵电流(A) | 凝泵压力(MPa) | 凝泵电流(A) | 凝泵压力(MPa) |
| 250 | 1249 | 42.3 | 2.3 | 80.4 | 3.3 |
| 300 | 1115 | 46 | 1.69 | 80.6 | 3.28 |
| 330 | 1247 | 47.8 | 2.28 | 81 | 3.3 |
| 370 | 1157 | 50.7 | 2.18 | 82.6 | 3.27 |
| 430 | 1281 | 57.3 | 2.07 | 85.7 | 3.17 |
| 500 | 1300 | 61.5 | 2.12 | 87.6 | 3.02 |
| 550 | 1365 | 71 | 2.25 | 89.9 | 3.0 |
| 570 | 1331 | 72.4 | 2.04 | 93.9 | 2.8 |
| 600 | 1404 | 78.5 | 2.29 | 94.8 | 2.79 |

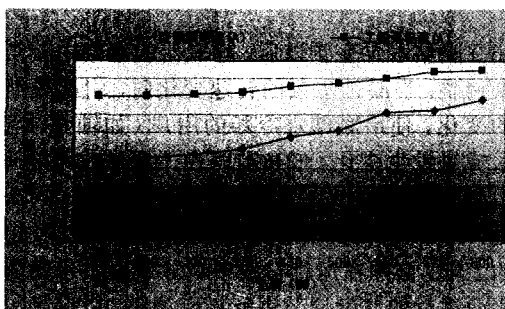


图4 不同负荷情况下,凝结水泵变频/工频运行的电机电流变化均势图

3.1 改造后经济效益(实际节能量)统计

电量分析统计时间:2008年7月1日至2008年10月20日,共计2640小时,统计对相关为#2、#3机凝结水泵。

#2机组凝结水泵电量(计量抄表数据)

| 抄表日期 | 2A凝结水泵二次电量(KWH) | 2B凝结水泵一次电量(MWH) |
|------------|-----------------|-----------------|
| 2008.07.01 | 25.8 | 2934 |
| 2008.08.04 | 53.4 | 2935 |
| 2008.09.01 | 76.0 | 2935 |
| 2008.10.06 | 103.9 | 2936 |
| 2008.10.20 | 114.8 | 2936 |

统计期间2A凝结水泵用电量计算(折算为一次电量,CT:150/1,PT:10kV/110V):

$$3 \times (114.8 - 25.8) \times 10000 / 110 \times 150 / 1 = 3640909 \text{Kwh} = 3641 \text{MWH}.$$

2008年07月01日至2008年10月20日2B凝结水泵用电量计算:2936-2934=2MWH。

注:2B凝结水泵用电量在综保继电器内部已自动计算并显示出来。

#2机凝结水泵总的用电量:

$$3641 \text{MWH} + 2 \text{MWH} = 3643 \text{MWH}$$

#3机组凝结水泵电量(计量抄表数据):

| 抄表日期 | 3A凝结水泵二次电量(KWH) | 3B凝结水泵一次电量(MWH) |
|------------|-----------------|-----------------|
| 2008.07.01 | 25.9 | 0 |
| 2008.08.04 | 47.2 | 0 |
| 2008.09.01 | 65.1 | 0 |
| 2008.10.06 | 87 | 0 |
| 2008.10.20 | 95.4 | 0 |

统计期间3A凝结水泵用电量计算(折算为一次电量,CT:150/1 PT:10kV/110V):

$$3 \times (95.4 - 25.9) \times 10000 / 110 \times 150 / 1 = 2843181 \text{Kwh} = 2843 \text{MWH}.$$

注:因在统计时间内3B凝结水泵没有运行,所以#3机组凝结水泵用电量也即是3A凝结水泵用电量。

#3机凝结水泵改造前同一统计时间段的用电量。

2008年07月01日至2008年10月20日#1、#2、#3机组的发电量:

| 机组 | 08年07月01日发电量记录(MWH) | 08年10月20日发电量记录(MWH) | 统计期间的总发电量(MWH) |
|-----|---------------------|---------------------|----------------|
| #1机 | 2024378.4 | 3317899.9 | 1293521.5 |
| #2机 | 2279716.4 | 3599770.6 | 1320054.2 |
| #3机 | 2000761.4 | 3319935.6 | 1319174.2 |

因#2、#3机凝结水泵改造前电机型号及各运行参数相同,所以用#2机凝结水泵统计期间的用电量代替#3机凝结水泵改造前统计期间的用电量,所以用#2机凝结水泵的电量来统计#3机凝结水泵变频改造前后电量差值。

#3机凝结水泵改造前同一时间段的用电量=3643MWH。

#3机凝结水泵变频器改造后2640小时内节约电量:3643-2843=800MWH。

3.2 两种算法计算经济效益

(1)凝结水泵电机额定功率为1600kW,电压10kV,额定电流108A。改造后,满负荷时电流为80A以下,按80A计算,约节能 $(108 - 80) \div 108 = 26\%$,可以节能26%。

(2)统计法:#2、3机组参数相同,统计期间#3机凝结水泵电机进行了变频改造,#2机凝结水泵电机暂未改造,采集#2、3机凝结水泵电机用电量进行对比。根据电能表显示,2008年7月1日至10月20日期间,#2机凝结水泵用电量3643000kW·h,#3机凝结水泵用电量2843000kW·h,统计期间#2、3机的总发电量分别为1320054200kW·h、1319174200kW·h,可见,统计期内#2、3机凝结水泵负荷接近,具有可比性。计算得改造后约节能 $(3643000 - 2843000) \div 3643000 = 22\%$,

两种算法结果相近,可以认为凝结水泵电机变频改造后,节能效果显著。

4 总结

国产高压变频器已在凝结水系统中有许多成功的应用案例,国产高压变频器目前以其显著的节能效果和良好的系统响应和控制品质,在电厂的主要辅机上得到广泛应用,在节能方面体现了其巨大的潜力,于2008年本厂三台机组都实现了一台凝结水泵改造为变频调速形式,并以其作为运行泵,未改造的工频泵作为备用,一直以来运行情况良好,从改造方案、设备选型、系统安装调试等方面有了一定的经验总结,为厂今后进一步开展节能降耗工作有了一个良好的技术积累。

参考文献

[1] HARSVERT-A系列高压变频调速系统说明书[M].北京利德华福电气技术有限公司,2004,1.
 [2] 倪洲,周元龙,王丙化,李学保,林静.仁高压变频器在300MW

汽轮发电机组凝泵上的应用.

[3] 朱军,李立敏.白鹏国产高压变频器在凝结水系统的应用.
 [4] 孙廷珏.国产高压变频器在发电厂凝结水泵上的应用.

(上接第79页)

然后,我们通过短期白学习系数对其进行修正,最后得到实际的轧制力矩。

$$M = K_{Mshort} \cdot M_{Model} \quad (6)$$

式中, M 为轧制力矩, K_{Mshort} 为短期白学习系数, M_{Model} 模拟轧制力矩。

2 试验结果及分析

我们以 S S 4 0 0 为例,其化学成分(质量分数)为: C 0.201%, Mn 0.210% Si 0.098%, Cr 0.01%, V 0.002%, Al 0.014%, Ti 0.001%。模拟计算参照的现场工艺参数如表1所示。

表1 模拟现场工艺参数表

| 道次 | 轧辊转速 / (r · min ⁻¹) | 轧件厚度/mm | | 压下率/% |
|----|---------------------------------|---------|-------|-------|
| | | 入口 | 出口 | |
| R1 | 10.89 | 86.3 | 50.51 | 41.47 |
| R2 | 26.12 | 50.51 | 29.36 | 41.87 |
| F1 | 43.64 | 29.36 | 17.88 | 39.10 |
| F2 | 60.00 | 17.88 | 13.26 | 25.84 |
| F3 | 77.78 | 13.26 | 10.57 | 20.29 |
| F4 | 103.78 | 10.57 | 9.52 | 9.93 |
| F5 | 107.23 | 9.52 | 9.52 | 0 |

根据所得模型及计算条件,我们得到各道次轧制力和轧制力矩的结果分别如图2、3所示,我们看到轧制力最大误差约为10.3%(精轧第1道次)。其中最后一道次的压下量为0,为空过道次。轧制力矩最大误差约为18.5%(精轧第1道次)。总的来说,模拟的轧制力及力矩值与实测值较为吻合。

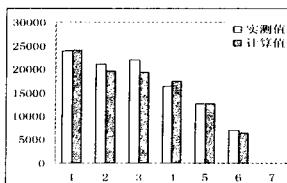


图2 轧制力

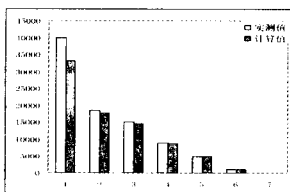


图3 轧制力矩

3 轧制力模型在各钢厂的应用情况

轧制力模型目前已广泛应用于各类轧机,对这方面的研究也比较多。其中20世纪90年代初期,马钢中板厂、浦钢中厚板厂等率先进行了自动化改造,其中就采用了轧制力模型。1997年,武钢2700mm中厚板轧机也采用了轧制力模型进行控制。2002年鞍钢厚板厂4300mm轧机引进奥钢联技术对轧机进行技术改造,采用了新的轧机控制系统,其中也包含轧制里模型。2003年鞍钢中板厂将三辊劳特式轧机更换为2500mm四辊轧机,辊面宽度由2300mm扩大至2450mm,与此同时,进行了轧制力模型的改造。新余钢铁公司中板厂也进行了轧制力模型的改造。上述改造提升了各中板厂的生产能力,改进了产品质量,提高了其产品的竞争力。

4 结论

该轧制力模型具有较高的精度,能够较为准确地反映中厚板轧机轧制过程中的轧制力和轧制力矩等参数。在计算机控制技术中,轧制力模型对于轧机辊缝设定、负荷分配、自动厚度控制的增益系数的确定及最优化控制具有很重要的作用,可为实际生产提供有效的帮助。

参考文献

[1] 任勇,程晓茹.轧制过程数学模型[M].北京:冶金工业出版社,2008,1.
 [2] 丁修堃.轧制过程自动化[M].冶金工业出版社,2005,3,360-385.
 [3] 曾鸿德.塑性变形力学与轧制原理[M].北京:机械工业出版社,1981.
 [4] 日本钢铁协会.板带轧制理论与实践[M].王国栋,吴国良译.北京:中国铁道出版社,1990.