

高压变频器 在超超临界 660MW 机组凝结水泵中的应用

Application of High-voltage in USC 660MW Units Condensate Pump

福建大唐国际宁德发电有限责任公司 余学文 孙伟 徐敬 李慧琪

Yu Xuewen Sun Wei Xu Jing Li Huiqi

摘要: 高压交流电动机变频调速技术以其卓越的调速性能、显著的节电效果以及广泛的适用性,成为火力发电厂节能降耗技改工程的首选。为了今后其它超超临界机组凝结水泵进行变频改造,并使变频改造后的高压电动机和变频器能够安全、稳定、高效的运行,有必要对变频改造工程实践中一些经验进行总结,以便作为借鉴。

关键词: 超超临界 凝结水泵 变频器 调节特性 节能

Abstract: As the excellent performance, a significant saving effect and broad applicability, High Frequency AC motor speed control technology has become the first choice in Technical transformation project of energy saving in thermal power plant. To make the future of other condensate pump for USC in the high-voltage frequency converter to motor and drive safe, stable and efficient operation, we need to practice on the frequency reconstruction summarize some experience to serve as a reference.

Key words: USC Condensate pump Inverter Regulation characteristics Energy saving

[中图分类号] TN773

[文献标识码] B

文章编号 1561-0330(2011)02-0072-05

1 引言

本文以国产多电平型高压变频器在大唐宁德电厂凝结水泵的应用为例,分别对凝结水泵应用高压变频器前后的运行工况、基本原理及注意事项进行阐述,并通过电耗对比试验,对凝结水泵变频调节和传统调节阀门调节的节能效果进行比对,进而说明,超超临界机组采用高压变频器对凝结水泵进行调速节能改造的应用方法,具有投资省、见效快等特点。

超超临界燃煤发电机组具有煤耗低、技术含量高、环保性能好、节约

资源的特点,必将是今后我国火电机组的发展方向。大唐宁德电厂二期工程为2×660MW超超临界发电机组,分别于2008年12月和2009年6月投入商业运行。自投产以来,机组各项运行指标良好。2台机组各配置2台100%容量的多级离心式凝结水泵,凝结水系统原设计运行方式为2台100%容量定速凝结泵互为备用,即由定速电动机驱动,1台运行,1台备用。凝结水流量靠除氧器上水调节阀门调节,并配备旁路以保证凝结泵在各种工况下安全运行。正常运行方式下,凝结水泵

1台运行,1台投备用,当运行凝结泵出现故障时,另外1台自动投入运行。在负荷变动时,通过除氧器上水调节阀门开度来控制除氧器水位,这就造成较大的节流损失。在启停机及低负荷时,为了维持凝结泵最小流量还要打开旁路门,造成能量白白流失。另外,即便机组处于满负荷运行状态,由于设计留有较大的裕量,除氧器上水调节阀门也不能处于全开位置。采用凝结泵定速运行,系统存在以下问题:

(1) 阀门调节节流损失大、出口压力高、管损严重、系统效率低,造成

能源的浪费;

(2)当流量降低,阀门开度减小时,调节阀前后压差增加工作安全特性变坏,压力损失严重,造成能耗增加;

(3)长期10~40%低阀门开度,加速阀体自身磨损,导致阀门控制特性变差,并造成凝结水附近管道震动增大,对安全生产有极大影响;

(4)管网压力过高威胁系统设备密封性能,严重时导致阀门泄漏,不能关严,凝结泵出口精处理器泄露等情况发生;

(5)设备使用寿命短、日常维护量大,维修成本高,造成各种资源的极大浪费。

如果采用高压变频器对凝结泵电机进行变频控制,实现除氧器水流量的变负荷调节。除氧器上水调节门可以始终处于全开的状态,而且旁路门始终处于关闭状态,从而避免上述的各种功率损失。除此之外,变频器可以使电动机实现软启动,避免电动机直接启动引起的电网冲击和机械冲击,大大延长电机的寿命、减小管路振动、提高系统的可靠性。这样,不仅解决了控制阀调节线性度差、纯滞延大等难以控制的缺点,而且提高了系统运行的可靠性;更重要的是减小了因调节阀门口变化造成的压流损失,减轻了控制阀的磨损,降低了系统对管路密封性能的破坏,延长了设备使用寿命,维护量减小,改善了系统的经济性,节约了能源,为降低厂用电率提供了良好的途径。

国家将能源利用效率列为重中之重,主要目标是到2010年单位GDP的能源消耗减少20%。其中,每1万元GDP标准煤消耗量应减少到0.98吨;单位GDP的能耗每年必需减至4.4%;单位工业附加值的水资源消耗必需减少30%;主要污染物排放应减少10%。为此,国家制定并实施了《节能中长期专项规划》,确定了“十一

五”期间能耗降低目标。国资委和原国家环保总局就节能减排指标还分别与国内五大发电集团公司签订了责任状,将能源消耗纳入企业综合评价和年度考核,按照“一票否决”制,实施节能目标责任制和问责制。

大唐宁德电厂作为大唐集团的代表性企业,积极响应国家节能减排、建设资源节约型社会的重要政策,09年我们先后对2台机组凝结泵系统进行了变频改造。一年多来机组运行实践表明,改造后凝结水系统各项安全性指标达到了预期的目标,凝结泵变频改造工作取得了成功。

2 高压变频调速技术

2.1 高压变频器特点

目前,市场上众多生产厂家推出了各种原理和结构各异的高压变频器,选择一种适用于火电厂风机和水泵变频调速改造的产品是非常重要的。实践经验表明:单元串联多电电压源型变频器是火电厂风机和水泵变频调速改造的首选。这种变频器采用的拓扑结构由美国罗宾康公司率先开发研制,所以又称罗宾康结构。国内厂商包括利德华福、东方日立以及微能科技等公司均采用这种主电路结构。

2.1.1 结构特点

(1)在输出逆变部分采用了具有独立电源的单相桥式SPWM逆变器的直接串联叠加,不存在器件均压的问题;

(2)在输入整流部分采用了多相多重叠加整流技术,可以降低开关损耗提高等效开关频率,从而减小输出谐波、降低噪声和电动机的脉动转矩;

(3)在结构上采用了功率单元模块化技术,虽然使元件数目增加,但由于IGBT驱动功率低可以使变频器的效率高达96%以上。

这些技术的采用使得这种变频器

驱动功率小、总体效率高、谐波污染最小,堪称完美无谐波变频器。

2.1.2 单元串联多电电压源型变频器的主要优点

(1)由于采用功率单元串联,可采用技术成熟,价格低廉的低压IGBT组成逆变单元,通过改变单元个数适应不同的输出电压要求;

(2)完美的输入、输出波形,可以降低电机脉动转矩,使其能适应任何场合及电动机使用,对电机电缆长度无特殊要求;

(3)由于多功率单元具有相同的结构及参数,便于将功率单元做成模块化,实现冗余设计,在个别单元故障时可以通过旁路功能使系统能够正常或降额使用;

(4)变频器可承受-35%电源额定电压降低和5个周波的电源丧失,能够适应发电厂厂用电系统工作和备用之间电源切换、电动给水泵等大负荷启动时造成的电压波动。

2.2 单元串联多电平型高压变频调速系统结构

我公司本次改造采用利德华福HARSVERT-A系列高压变频器,其调速系统采用多电平串联的结构控制方式,系统结构如图1所示。系统主要由移相变压器、功率单元、旁路单元组成。6kV系列有15个功率单元,每5个功率单元串联构成一相,每个功率单元结构上完全一致,可以互换。串联方式采用星型接法,中性点浮空。每个功率单元由电网电压经移相变压器的次级绕组供电,所有功率单元都通过光纤接收来自同一个中央控制器的指令,以调节输出电压,功率单元输出电压串联后得到可变频率的高压电供给电动机。

3 高压凝泵变频方案实施

3.1 动力系统方案

针对凝结水系统的特点,综合比

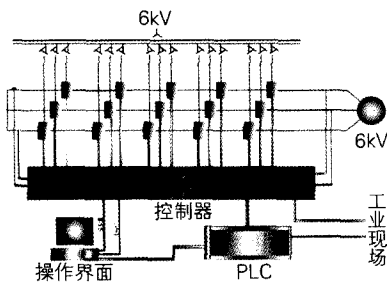


图1 利德华福 HARSVERT-A型高压变频器结构图

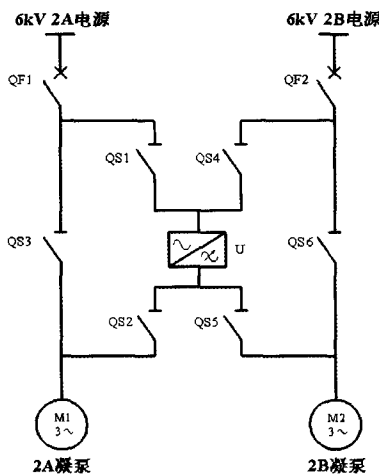


图2 动力系统原理示意图

较多种动力系统方案，我们最终确定我厂凝结水系统变频改造采用一拖二手动旁路方案。如图2所示，配备1台高压变频器，通过切换高压隔离开关把高压变频器切换到要运行的凝结水泵上去。高压变频器可以拖动A凝结泵电动机实现变频运行，也可以通过切换拖动B凝结泵电动机实现变频运行。两侧凝结泵电动机均具备工频旁路功能，可实现任意1台电动机的变频运行，另外1台处于工频备用，当高压变频器故障时，系统可联锁另1台工频电机运行。

它是由6个高压隔离开关QS1~QS6组成。其中QS1和QS4、QS2和QS5有电气互锁；QS3和QS2、QS6和QS5安装机械互锁装置。如果两路电源同时供电，A凝泵工作在变频状态，B凝泵工作在工频状态时，QS3和QS4、QS5分闸，QS1、QS2和QS6处于合闸状态；B凝泵工作在变频状

态，A凝泵工作在工频状态时，QS1和QS2、QS6分闸，QS3、QS4和QS5处于合闸状态；如果检修变频器，QS3和QS6可以处于合闸状态，其它隔离开关都分闸，2台凝结泵可以同时工频运行；当一路电源检修时，可以通过分合隔离开关使任一电机变频运行。

当A凝结泵变频运行故障跳闸时，系统联锁启动B凝结泵QF2开关工频运行。当B凝结泵变频运行故障跳闸时，系统联锁启动A凝结泵QF1开关工频运行。

3.2 控制系统方案

3.2.1 改造原则

凝结水泵变频改造要在保证除氧器水位调节品质不变，并可以在工作泵跳闸、低水压等特殊工况发生时保证机组正常运行前提下进行变频改造。改造利用现有的设备与系统，原来2个水位调节门全开以减小节流损失，当高压变频器跳闸后，备用凝结水泵以工频方式立即启动，将凝结水打至出口母管，以保证在变频器跳闸时除氧器水位的稳定。两个调整门的开度由当前实际负荷计算得出，而且在10s时间内迅速关到指定位置，最低程度减小系统扰动，维持除氧器水位在正常范围内，保证机组运行。

3.2.2 实际改造实施情况

变频器的启停通过闭合、断开变频方式下的凝结水泵的6kV开关来自动完成，也就是说，运行人员在凝泵操作面板上按下凝泵操作面板的“启动”和“停止”按钮即可完成6kV开关的闭合、断开及变频器的启停控制。由于是1台变频器控制2台凝泵，所以同时只能有1台泵在变频方式下，另1台泵在工频方式，在逻辑中设计了凝泵的变频运行方式和工频运行方式，同时原系统中分别增加了1套保护和1套联锁，即变频器重故障凝结水泵跳闸保护，同时备用泵联锁启动。

正常运行时1台凝结水泵变频运行，另外1台凝结水泵工频备用，运行人员可根据实际情况控制除氧器水位调节门开度，变频运行且投入自动，变频器通过输出频率的改变来调整凝结水泵的转速，从而通过控制凝结水泵到除氧器的上水量，保证除氧器水位稳定在运行人员的设定值范围内。当水位发生波动时，通过DCS组态中以凝结水流量、省煤器出口流量、除氧器水位3个参数构成的串级回路，输出转速指令至变频器，调整凝结水泵的上水量，以稳定除氧器水位。

当设备发生故障，例如变频器发“重故障报警”或者凝结水泵突然跳闸等故障发生时，当前凝结水泵的高压合闸开关断开，并闭合另外1台工频备用凝结水泵高压合闸开关，备用泵工频启动。变频器自动切换到“手动”方式，2个调节门自动切换到“自动”方式，当工频泵启动的瞬间，除氧器上水调整门开度仍然在较大开度，凝结水上水量会因此猛增，为防止除氧器水位超过规定值，2个调节门必须在最短的时间内关到合适的位置，所以逻辑设计了一旦变频器由于故障原因由自动切手动，调门在10s时间内强制关到当前负荷要求的开度，投入到“自动”方式运行。这个开度也是工频正常运行时调整门的理想开度值。当调整门关到负荷计算值位置并且稳定后，从而完成整个凝结水变频故障的无扰切换。

3.3 冷却系统方案

由于变频器本体在运行过程中有一定的热量散发，为保证变频器具有良好的运行环境，需要为变频器配备独立的冷却系统。根据现场的实际情况，综合冷却系统的投资和运营成本、设备维护量、无故障运行时间，针对实际安装位置、发热总量、运营成本、施工费用等因素，

此次变频改造采用了强制密闭式冷却方案。

为保障变频设备处于安全运行,避免环境温度和粉尘对设备的不利影响,在变频器功率柜侧独立增加密闭式强制冷却系统。该系统作为变频功率柜外的附属装置,能够保证变频功率柜始终处于 $25\sim 40^{\circ}\text{C}$ 运行环境,大幅度延长滤网更换周期,减少现场维护量。不需要为变频器再独立建筑房屋,变压器柜采用开放式冷却。强制冷却装置与变频器功率柜一体化设计,附着于功率柜顶部。制冷压缩机安装于变频器柜附近。

强制密闭式冷却系统如图3所示。

通过实际运行,强制密闭冷却装置能够满足高压变频器运行过程中的散热需要,设备安装简便、快捷,热交换效率高。

4 采用变频调速应该注意的问题

4.1 选择可靠性要求高

电厂的性质决定了用于电厂的高压变频器需要有很高的可靠性,保证电厂的安全生产。美国罗宾康高压变频器和北京利德华福有限公司的高压变频器均采用整个功率单元串联,而不是功率器件直接串联,避免了器件

直接串联带来的均压问题。采用功率单元旁路技术,当功率单元故障时,变频器仍可降额继续运行,大大提高了系统的可靠性。在选择高压变频器时,这一性能应询问变频器厂家,作为重点参考指标。

4.2 变频器输入谐波对电力系统的影响

如果变频器输入电流谐波较大(比如采用电流源型变频器,没有滤波措施时),对火电厂的电力系统会产生如下危害:

(1)供电系统的继电保护装置误动作,可能导致大面积停电;

(2)测量仪器仪表误差增大,影响计量精度和控制性能。影响其它电力电子装置,电子计算机系统及通信设备的正常工作;

(3)使电机,变压器和电容器等用电设备损耗增大,严重时会同过热或烧损。

完美无谐波高压变频器输入电流谐波失真极小,对电网基本不产生谐波污染。大、中型火电厂自动化水平高,大多数采用自动化仪表和计算机控制系统,对用电系统的谐波要求很高,美国罗宾康高压变频器和北京利德华福有限公司的高压变频器电压、电流波形较好,不存在这方面的问题。

4.3 变频器输出波形对电机的影响

由于火电厂应用变频调速的很大部分是属于旧有设备的改造,原有的普通电机是设计成为电网直接运行的,而电网电压波形基本为正弦波。如果变频器输出波形质量不好的话,会对电机产生影响。变频器输出谐波会引起的电机附加发热和转矩脉动,噪音增加,输出 dv/dt 和共模电压会影响电机的绝缘。美国罗宾康高压变频器和北京利德华福有限公司的高压变频器输出波形质量均很高,不必设置输出滤波器,就可以使用原有的普通异步电机。

4.4 高压变频器进线刀闸、旁路刀闸、出线刀闸集成柜的选择

选择高压变频器时,可根据辅机设备的重要程度决定是否采用进线刀闸、旁路刀闸、出线刀闸集成柜。而凝结水泵,正常运行时1台运行,1台备用,因此在变频器故障时不会造成机组降负荷运行,不再采用进线刀闸、旁路刀闸、出线刀闸集成柜,以便降低造价,节约投资。

4.5 高压变频器要有可靠的冷却装置

高压变频器在冷却风扇停运时,功率单元将超温而使变频器停止运行,因此高压变频器应有2套独立的冷却装置,并且冷却装置的电源系统要有两套来自不同低压段的独立的电源供电。

4.6 高压变频器应选择良好的运行环境

高压变频器的运行应选择清洁、通风、干燥的运行环境,高压变频器变压器柜和功率柜的滤网应定期清扫。特别是运行环境较差时,灰尘将阻塞滤网,造成冷却效果变差而功率单元超温报警,甚至停运。

5 节能效果分析

5.1 设备参数

5.1.1 凝泵系统参数

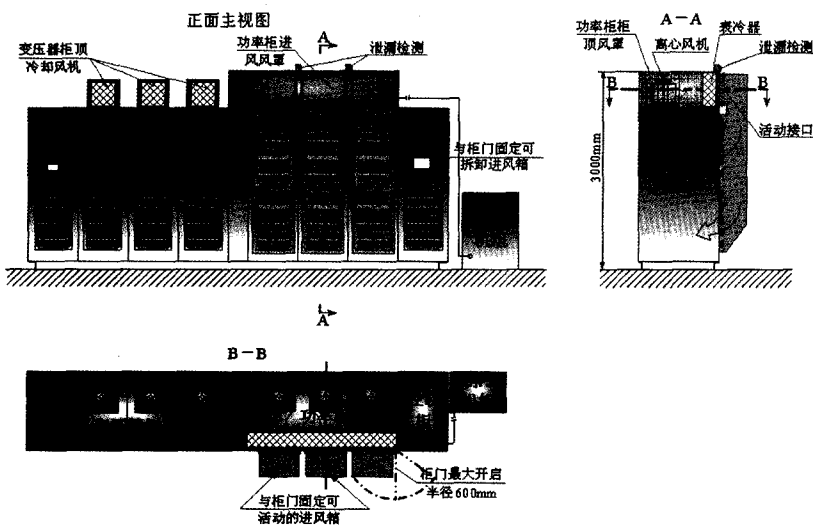


图3 强制密闭式冷却系统

凝结泵电机参数:

型号: YKKL2300-4/1180-1;

额定功率: 2300kW;

额定电压: 6kV;

额定频率: 50Hz;

额定电流: 262.9A;

额定转速: 1492r/min;

相数: 3;

接线方式: 2Y;

冷却方式: IC611;

电机转动惯量: $J=133.4\text{kg}\cdot\text{m}^2$;

生产日期: 2007年4月;

制造厂家: 湘潭电机有限公司。

5.1.2 高压变频器参数

型号: HARSVERT-A06/270;

技术方案: 多级模块串联, 交直交、高高方式;

额定输入电压/允许变化范围: 6kV/±10%;

系统输出电压: 0~6kV;

对电网电压波动的敏感性: -35%~+15%

移相变压器额定容量: 2900kVA;

变频器输出电压变化范围: 0-6kV;

变频器输出电流变化范围: 0~262.9A;

电网侧变换器型式及元件 30脉冲, 二极管三相全桥

附表 工频/变频状态在各种负荷下每小时节电统计表

负荷(MW)	660	600	500	400	330
工频单位耗电(kW·h)	1664.2	1601.6	1530	1525.6	1519.3
变频单位耗电(kW·h)	1178.3	974.5	793.8	713.5	676.5
变频比工频节约电能(kW·h)	485.9	627.6	736.2	812.1	842.8

电机侧逆变器型式及元件

IGBT 逆变桥: 串连;

冷却方式: 强制密闭冷却;

制造厂家: 北京利德华福电气技术有限公司。

5.2 工频/变频状态在各种负荷下每小时节电统计如附表所示

从上表中数据可以看出, 机组负荷越小, 采用变频改造后, 凝结水泵电机节能效果越显著。按平均每小时节电750kW·h, 年运行6000h计算, 年节电750×6000=450万(kW·h); 按上网电价0.4元/kW·h计算, 年效益0.4×450=180(万元)。

6 结束语

凝结泵在变频改造投运后一年多时间里运行稳定。此次, 660MW超超临界机组凝结水系统高压变频改造, 新增变频设备安装布置在凝结水泵就近位置, 节省了高压电缆和土建费用; 冷却系统均采用强制密闭冷却结构设计, 风路循环使用, 粉尘小、环

境稳定, 受外界环境因素影响小, 大大减低维修维护人员的工作强度。凝结水系统投入运行后各项测试性能指标良好: 两个调整门截流噪音及震动明显减小, 机组在330MW运行时, 凝结水泵电机电流由原来的170.5A最低降低到75.9A左右, 节电率可达55.5%, 全年平均节电率为50.9%。

节能效果十分明显。超超临界机组凝结水泵变频改造后, 实现了跟踪负荷等参数变化通过调节电动机频率实现连续调节, 平滑稳定、调节范围大、节能降耗效果明显, 经济性较高。值得在全国范围内大规模的推广应用。

作者简介

余学文 男 学士, 高级工程师, 从事电气设备管理工作, 现为福建大唐国际宁德发电有限责任公司设备工程部电气点检长。

参考文献(略)

(上接第64页)

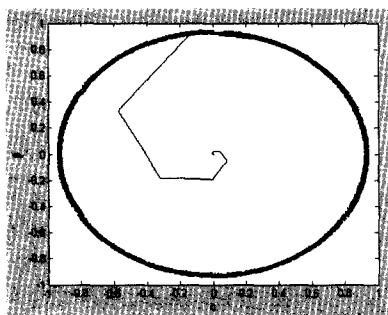


图7 定子磁链轨迹

压 $U_{dc}=600\text{V}$ 。启动及稳态时的各种波形如图4-7所示。

图4和图5分别为转矩和电流波形

图。图6给出了定子磁链波形, 除启动时磁场建立的过程外, 在静态过程中磁链轨迹始终保持近似圆形。从图7可以看出, 实际的速度能迅速变化且无超调, 说明直接转矩控制系统确实具有优良的静态性能

5 结束语

直接转矩控制直接在定子坐标系下分析交流电动机的数学模型、控制电动机的磁链和转矩, 使系统结构变得十分简单, 更为容易实现。它在很

大程度上解决了矢量控制中计算控制复杂、特性易受电动机参数变化的影响、实际性能难于达到理论分析结果等一些重大问题。

作者简介

董凯(1986-) 男 毕业于安徽理工大学, 现于国投新集自动化工程公司工作, 从事电气工程自动化相关工作的研究。

参考文献(略)