

One Motor Two Pump Inverter Transformation to Be Possible all the Various Professions Research

QIAO Hong-lan, XV Dong-mei, JIAO Qing-wei, WANG Jun-tao

(Ping ding shan Yao meng Power Plant LTD. Co., pingdingshan China, 467031)

qiaohl@ymfd.com

Abstract: This energy conservation activity around the plant for import of 300MW ALSTOM Condensate System and condensate booster pump condensate pump operation mode of the particularity of a bold attempt to one motor two pumps (condensate pump and condensate booster pump) frequency transformation, success to achieve the desired goals for the transformation of other similar systems provides valuable experience.

Keywords: Congeals pump, condensate booster pump, inverter, control method

一机二泵变频改造可行性研究

乔红兰, 徐冬梅, 焦庆伟, 王君涛

(平顶山姚孟发电有限责任公司, 河南平顶山 467031)

qiaohl@ymfd.com

[摘要] 本文是围绕电厂节能降耗活动, 针对进口 ALSTOM 的 300MW 机组凝结水系统凝泵和凝升泵运行方式的特殊性, 大胆尝试了一机二泵(凝泵和凝升泵)变频改造, 成功实现了预期目标, 为其它同类系统改造提供了可借鉴的经验。

[关键词] 凝泵、凝升泵、变频器、控制方式

引言

某电厂#3 机组是引进比利时财团的 300MW 亚临界燃煤机组, 凝结水系统配置两套泵组系统, 每台凝泵电动机额定功率 900kW, 额定转速 2979rpm, 额定电压 6kV, 额定电流 103A。凝泵正常运行方式是“一工一备”形式。凝泵电机与机械配套是一端经减

速机降速(变速比 1: 3.2)到 900~928rpm 带“凝泵”运行, 另外一端是电机转速 2979rpm 直接带“凝升泵”运行, 原凝结水系统凝汽器水位、水压的控制是由 LW414、LW437 调节阀相互配合完成。凝结水系统中一机二泵(凝泵、凝升泵)方式的示意图如下:

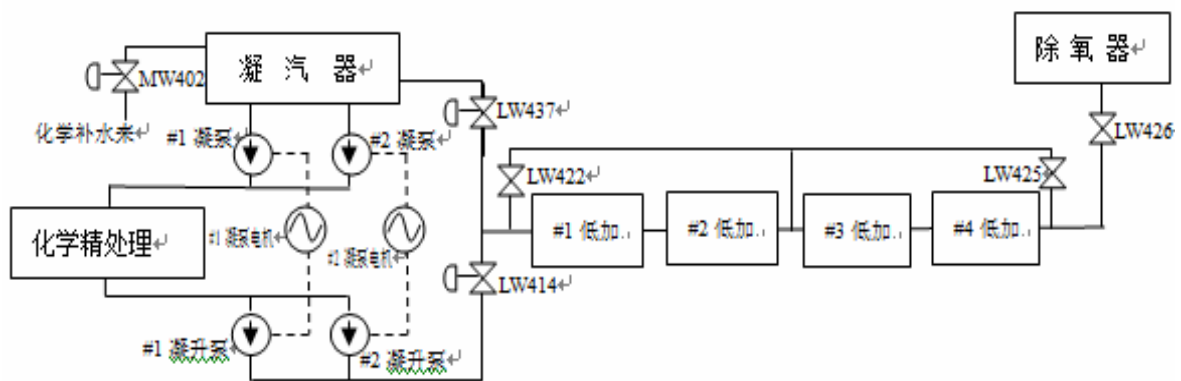


Figure 1 condensate pump system, a machine of (condensate pumps, condensate booster pump) Schematic diagram of the way

图 1 凝结水系统中一机二泵(凝泵、凝升泵)方式的示意图

机组的凝升泵出口调节阀(LW414), 在机组满负荷运行时, 门开度仅为 40%, 凝结水压力 2.5MPa; 当机组带 200MW 负荷运行时, 门开度只有 20%, 凝结水压力 2.7MPa。由此可以看出, 机组运

行中凝结水系统节流现象相当严重, 对设备寿命影响极大, 其经济性也很差, 因此提出在凝结水系统满足机组运行的条件下, 对凝泵进行变频控制改造节能降耗。

一. 改造可行性论证

由于机组的凝泵电机是两端带泵运行，而且凝泵端又是经较大减速比的减速机降速运行，因此根据机组在低负荷和满负荷时，允许的调速范围 2250-2980 rpm，对有关参数进行计算和验证。

(一). 凝结水系统变频调速可行性论证

1. 凝泵、凝升泵有关参数:

凝泵参数:

转速: 900-928 转/分; 流量: 650-785T/h
 扬程: 61-65.5 米水柱; 轴功率: 175-195kW
 汽蚀余量: 2.1M; 效率: 69-72.5%

凝升泵参数:

转速: 2880-2980 转/分 ; 流量: 650-785T/h
 扬程: 235-219.4 米水柱; 轴功率: 520-570kW
 汽蚀余量: 9.5-10.5 M; 效率: 80-81%

2. 机组原始的实际运行参数:

Table1 The actual operating parameters of the original unit
 表 1 机组原始的实际运行参数

负荷	178MW	217 MW	254 MW	265 MW	300MW
凝结水流量	490t/h	555 t/h	634 t/h	691 t/h	780 t/h
凝结水压力	2.74MPa	2.72 MPa	2.55 MPa	2.54 MPa	2.45 MPa
LW414 开度	21.1%	23%	30%	33%	40%
LW437 开度	关闭	0	0	0	0
凝泵组电流	80A	83A	85A	87A	90A

3. 变频调速工况下运行时，对涉及到有关参数校核计算:

由于机组凝结水系统在变频运行工况下，满负荷运行和凝泵原来的工频运行工况基本一致，因此，仅需对机组在低负荷下运行的允许调速值进行论证即可。

根据机组运行规程规定，凝结水系统的最低允许条件可知:

(a) 应保证凝升泵进水压力必须大于 0.1Mpa，但实际运行中经过化学精处理后的凝升泵入口最低压力一般保持在 0.3Mpa 左右。

(b) 应保证凝结水母管 (LW414 阀后) 压力是 1.25 Mpa;

(c) 除氧器工作压力保持在 0.85Mpa。

根据泵与风机学的知识可知，在风机、水泵 类负载变流量、变压力的运行状况中，流量、扬程和消耗的能量之间有这样的关系:

$$\frac{Q_1}{Q_2} \propto \frac{n_1}{n_2}$$

风机/水泵的流量和电机转速成正比;

$$\frac{H_1}{H_2} \propto \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

风机/水泵的全压/扬程和电机转速的平方成正比;

(1) 机组带低负荷为 180MW 时的核算:

(a) 凝升泵校核:

按厂家提供凝升泵变频曲线显示最低转速不得小于 2200rpm，取 2250rpm 核算:

$$\bullet Q1/Q2=n1/n2$$

$$X/785=2250/2980$$

$$X=785$$

×

$$2250/2980=592T/h$$

$$\bullet H1/H2=(n1/n2)^2$$

$$H1/235=(2250/2980)^2$$

$$H1=235 \times (2250/2980)^2=134 \text{ 米水柱}$$

由于水压与扬程成正比: 134 米水柱 \approx 1.34Mpa (即凝结水母管压力)

(b) 凝泵校核: 根据减速机变速比 1: 3.2

$$Y:2250=1:3.2$$

$$Y=2250/3.2=703 \text{ rpm}$$

$$H1/H2=(n1/n2)^2$$

$$H1/65.5=(703/900)^2$$

$$H1=65.5 \times (703/900)^2=39.9 \text{ 米水柱}$$

由于水压与扬程成正比: 39.9 米水柱 \approx 0.399Mpa (即凝泵出口压力)

(c) 校核结论

当电机转速降为 2250rpm 时，凝泵转速 703rpm，扬程 39.9 米水柱 (即: 0.399Mpa)，满足经化学除盐后凝升泵入口压力在 0.3Mpa 要求。

当电机转速降为 2250rpm 时，考虑到凝结水母管压力要求大于 1.25MPa 和除氧器工作压力 0.85Mpa 的需要，凝升泵出口压力在 1.34Mpa，满足以上要求。

变频改造后的转速调节范围是 2980—2250rpm，对应的频率是: 50Hz---37.75Hz。

(二). 变频改造电气部分论证:

1. 变频电气一次接线方案: 一拖二+旁路方式

此方案特点: 运行方式灵活，两台泵均可实现变频器，控制逻辑简化，可靠性较高，在母线室增加一面变频电源开关柜，需多敷设一根 6kV 动力和控制电

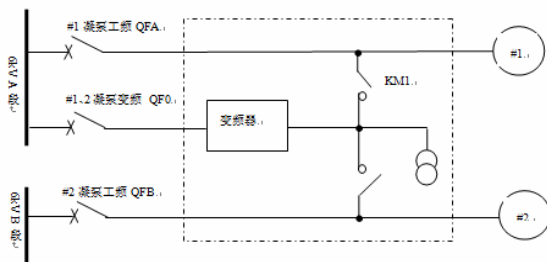


Figure 2 a frequency of electrical connection schemes

图2 变频电气一次接线方案

缆。另外，变频设备占空间长度仅 6.8 米，能够满足改造空间的要求；

KM1、KM2 选择为 F-C 真空接触器，KM1、KM2 仅作为操作开关，QF0 作为切断短路电流开关。正常运行方式，若#1 泵变频运行，#2 泵工频备用时，QF0、KM1 开关在合，QFA、KM2、QFB 开关在备用状态，其中接触器 KM1 和 KM2 互为闭锁，不能同时合，KM1 和 QFA 互为闭锁，KM2 和 QFB 互为闭锁，此逻辑关系已在 PLC 内设置，防止发生误操作。

2. 对变频器主要性能、指标的要求：

(1) 变频器的主要参数应与凝泵电动机额定参数相匹配，满足电动机启动和正常运行的需要。

(2) 变频调速装置采用交-直-交方式，系统输入为 6kV、50Hz，采用单元串联多电平技术和移相变压器组成，PWM 控制。

(3) 变频器控制电源：变频装置动力电源与控制电源是相互独立。

(4) 变频调速装置输出符合 IEEE 519—1992 及中国供电部门对电压失真最严格的要求，高于国标 GB/T 14549—93 对谐波失真要求。

(5) 变频器无需滤波器就可输出正弦电流和电压波形，对配套的高压电动机没有特殊的要求，使用原有的凝泵异步电机，电机不必降额或采取特殊措施使用。

(6) 变频调速装置输出波形不会引起电机的谐振，转矩脉动小于 0.1%；变频器有共振点频率跳跃功能，可避免凝泵喘振现象。

(7) 变频调速系统能在电子噪声、射频干扰及振动的环境中连续运行，且不降低系统的性能。

(8) 当电机故障时，变频器应可靠跳闸，变频器的每次保护动作均有故障记忆功能，可将最新至少 4 次故障记忆下来，以便故障检查分析。

(9) 变频调速装置对输出电缆的长度不应有任何要求（若有规定应明确标注），变频调速装置必须保护电机不受共模电压及 dV/dt 应力的影响。

(10) 变频器可在输出不带电机的情况下，采用低压电进行空载调试。

(11) 变频器对电网电压波动有极强的适应能力，在 $+10\% \sim -10\%$ 范围内变频器能满载工作，可以承受 35% 的电网电压下降而降额继续运行，电网瞬时失电 5 个周期可满载运行不跳闸。

(12) 变频调速装置的调速范围为 0-100% 连续可调；在整个频率调节范围内，被控电动机均能保持正常运行。

(13) 变频器应具有如下过载能力：120% 1min，150% 3s，200% 立即保护 ($<10\mu s$)，且满足凝泵负荷要求。

(14) 变频转矩特性：0~50Hz 恒转矩特性，额定转矩输出，转矩阶跃响应 $<200ms$ 。

(15) 变频调速装置 PLC 控制装置，应具有与机组 DCS 系统的硬接口，以便在远方实现变频器的监控功能。

3. 变频设备运行环境要求

由于变频器对运行环境要求较高，因此，变频器室位置选择还应避开潮湿、多粉尘的场所，满足安装、巡视、检修、运行的要求；另外，还要考虑变频器有较大的谐波干扰，对周围设备产生干扰的影响，需采取有效的谐波抑制措施；变频器运行发热量很大，在变频器室内需考虑空调设备和通风设施的配置，本次改造配置了 2 台 8P 空调。

重视变频器对接地要求，在变频器安装阶段应对变频器的所接的接地网进行完善和补充，测量接地电阻应不大于 0.5Ω ，以保证变频器可靠、稳定运行。

4. 考虑在厂用电切换或母线段上最大一台设备启动时对变频器工作的影响

凝泵改变频后，对厂用电母线电压自启动的核算，6KVA、B 段上电机自启动时母线电压最低为 $0.875U_n$ ，可以满足变频器最低工作电压的要求。

5. 变频器改造后的电气保护配置

原凝泵电机是随#3 机组配套的设备，未安装电动机的差动保护，电源开关柜上的保护配置：东大WDZ-430 型综合微机保护装置，其功能：

速断保护、负序保护、接地保护、过热保护（工频旁路运行）、堵转保护（工频旁路运行）、长启动保护（工频旁路运行）、正序过硫保护、过负荷保护、欠压保护。

变频器自带保护和报警输出：

过电压、过电流、欠电压、缺相保护、短路保护、超频保护、失速保护、变频器过载、电机过载保护、半导体器件的过热保护、瞬时停电保护等。

(三). 凝泵变频改造热工 DCS 控制方案的论证：

1. 凝汽器水位的调节过程：

原机组凝汽器水位控制方式是通过凝升泵出口调节阀 LW414 和凝结水再循环调节阀 LW437 共同完成。当凝汽器水位升高，凝升泵出口调节阀 LW414 开大，凝结水再循环调节阀 LW437 关小，通过增加向除氧器的上水量来降低凝汽器水位。反之，当凝汽器水位降低，凝升泵出口调节阀 LW414 关小，凝结水再循环调节阀 LW437 开大，通过减小向除氧器的上水量来增加凝汽器水位。凝汽器水位调节阀门关系特性曲线图如下：

2. 凝泵变频器改造后凝汽器水位的调节方式：

凝泵变频器改造后，通过调节凝泵组转速来改变凝结水流量，从而维持凝汽器水位。当凝汽器水位升高

时，增加凝泵组转速，增加凝泵组流量，降低凝汽器水位。当凝汽器水位降低时，降低凝泵组转速，减

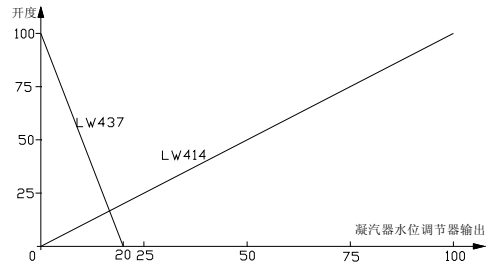


Figure 3 Relationship between condenser water regulating valve characteristic curve

图 3 凝汽器水位调节阀门关系特性曲线图

小凝泵组流量，增加凝汽器水位。凝升泵出口调节阀 LW414 调整凝结水压力在 1.5~1.8MPa，凝结水再循环调节阀 LW437 置全关。

在 DCS 中增加一套凝汽器水位变频调节回路“变频调节”，可与凝汽器水位调门调节回路“调门调节”进行切换，投入“变频调节”后，通过改变凝泵组转速来维持凝汽器水位，凝升泵出口调节阀 LW414 投入“凝结水压力调节”，凝结水再循环调节阀 LW437 逐渐强制全关。

变频改造后，在进行热工逻辑设计时，同时注意凝泵低转速下对凝结水系统所供用户（如低旁系统用水等）综合要求的满足。

3. 与 DCS 的联络接口的信号（不限于以下）：

Table 2, the contact interface with the DCS signal
表 2 与 DCS 的联络接口的信号

序号	接口信号名称	信号方向	备注
1.	高压就绪	变频柜—DCS	DI
2.	电机工频、变频运行状态	变频柜—DCS	DI
3.	变频器重故障、轻故障	变频柜—DCS	DI
4.	请求运行	变频柜—DCS	DI
5.	电机请求合高压开关	变频柜—DCS	DI
6.	各断路器位置信号	QFA、QFB、QF0、KM1、KM2开关—DCS	DI
7.	就地/远方控制开关位置	变频柜—DCS	DI
8.	DCS变频启动运行命令	变频柜—DCS	DO
9.	DCS急停、停机信号	变频柜—DCS	DO
10.	DCS复位命令	变频柜—DCS	DO
11.	DCS发出工切变、变切工指令	变频柜—DCS	DO
12.	合（QFA、QFB、QF0、KM1、KM2）指令	变频柜—DCS	DO
13.	断（QFA、QFB、QF0、KM1、KM2）指令	变频柜—DCS	DO

14.	工频、变频电流	变频柜—DCS	4~20mA
15.	电机转速	变频柜—DCS	4~20mA
16.	转速控制信号	变频柜—DCS	4~20mA
17.	移相变压器温度	变频柜—DCS	4~20mA

二. 变频改造后节能效果理论分析

根据凝泵变频改造后核算的转速调节范围是 2980—2250rpm，对应的频率是：50Hz---37.75Hz。

由泵与风机学的知识可知，转速与功率之间有下列的关系：

轴功率与转速的立方成正比，即 $\frac{P_1}{P_2} \propto \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$ 。

理论计算：

- 机组带 300MW 负荷，变频转速约在 2980rpm 额定转速下运行，可以约等于电动机的额定功率 900kW， $\Delta P1=0$ 。
- 机组带 230MW 负荷，变频转速在 2610rpm 时的电动机节约功率：
 $900/P2 = (2980/2610)^3$
 $P2=900 / (2980/2610)^3 = 604.7kW$
 $\Delta P2=P1-P2=900-604.7=295.3kW$
- 机组带 180MW 负荷，变频转速在 2250rpm 时的电动机节约功率：
 $900/P2 = (2980/2250)^3$
 $P2=900 / (2980/2250)^3 = 387.93kW$
 $\Delta P3=P1-P2=900-387.93=512.07kW$

按照目前机组调峰情况，大概平均日（24 小时）带负荷均布：180MW 负荷低谷时段，运行时间约 8 小时；200—230MW 平时段，运行时间约 10 小时；300MW 峰时段，运行时间约 6 小时，可计算出每天节电量：

$$\Delta Q \text{ 月总} = (0 \times 6) + (295.3 \times 10) + (512.07 \times 8) = 7049.56kW$$

年节约电量，扣除变频器增加 2 台 50kW 空调用电约 50kW，按照机组运行小时数为 7000 小时（即 290 天）计算：

$$\Delta Q \text{ 年总} = (7049.56 - 50) \times 290 = 203.0 \text{ 万 kw.h}$$

凝泵变频投入后，节电效果明显，全年机组运行时间 7000 小时计算，每台机组全年全厂可节约厂用电 203 万 kWh 左右，成本电价为：0.31 元/kWh，折合经济效益 62.93 万元左右，预计可在三年内收回工程投资。

三. 结束语

针对一机二泵这一特殊系统的变频改造，是一种大胆尝试和创新，综合考虑了凝结水所供用户对系统的要求，通过对凝结水系统 DCS 控制逻辑改进和优化，使凝泵变频改造后凝结水系统完全满足机组安全运行的需要，自动调节特性满足系统要求，节能效果显著，达到了预期目的，也为今后其它同类型系统改造提供了可借鉴的经验。

目前机组凝结水系统运行参数如下：

Table 3 present Condensate system operating parameters

表 3 目前机组凝结水系统运行参数

名称	200MW		290MW	
	工频	变频	工频	变频
凝泵电流	74.6 A	37 A	84.7 A	49.9 A
LW414 开度	26.7%	30.8%	35.1%	46.4%
凝结水压力	2.65 MPa	1.76 MPa	2.5 MPa	1.76 MPa
电流下降	37.6 A		34.8 A	
每小时节约电量	344.306kWh		318.666kWh	
年节约电量（按 7000 小时）	241.0142 万 kWh		223.0662 万 kWh	

References (参考文献)

[1] "High voltage high power converter technology and application of the principle" - Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, Forest Peng, 2008.2
 《高压大功率变频器技术原理与应用》—北京：人民邮电出版社，倚鹏，2008.2

[2] "Applications of high-voltage inverter" - Beijing: Electronic Industry Press, elections are Gu Hongbing Zhang, 2007.6
 《中高压变频器应用技术》—北京：电子工业出版社，张选正 顾红兵，2007.6

[3] "# 3 unit operation order" issued by Yao Power Company 2009.3.1
 《#3 机组运行规程》 2009.3.1 颁布 姚电公司