

# 火力发电厂循环水泵变频调控改进技术分析

范靖

(湖南省工业设备安装有限公司 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 火力发电作为高能耗发电项目之一,为了弘扬低碳环保可持续发展理念,减少碳排放,结合某一火电厂凝汽器循环冷却水系统的循环水泵实际案例,通过对变频调控改进技术方案的分析,期望对节约火电厂发电成本,减少能源消耗有所借鉴和帮助。

**关键词:** 火力发电厂; 循环水泵; 变频改造; 节能

## 0 引言

火力发电过程中,通常会应用大功率的循环水泵,整体的用电能耗较高,循环水泵一直工频运行难以保障发电厂的经济效益,尤其是功率较大时,水泵若未采用节能变频技术运转,不仅会加大电厂的内部能耗,增加成本,同时也无法精准控制凝汽器循环冷却水的进出水温差。鉴于此,变频调控技术在火电厂循环水泵系统中的运用是有必要的,能够进一步提升火电厂的发电效率、节约成本,减少碳排放。

## 1 案例概况

额尔登特电厂位于蒙古国额尔登特市,该火电厂机组额定装机总容量为 71MW。采用 3 套俄罗斯生产的 R-12-35/5M 型背压式汽轮机(每套 12MW)及 1 套中国生产的 CC50-3.43/1.27/0.25 型双抽凝汽式汽轮机(35MW),全负荷运行状态下凝汽器所需的最大冷却水量约为 14000m<sup>3</sup>/h,该火电厂机组的凝汽器冷却循环水系统依靠玻璃钢双曲线自然通风轻型冷却塔进行冷却。

该火电厂机组配置了 3 台(2 用 1 备)型号为 GS700-23+/6 的单级双吸离心泵作为循环水泵,额定电压等级 6.3kV,额定功率 560kW,额定转速 980r/min,额定电流 64.4A,额定流量 7000m<sup>3</sup>/h,功率因数 0.84,工频运行。根据机组运行要求,当凝汽器冷却循环水进出口温差超过 12℃时,需要根据实际的运行情况适当增加循环水泵数量,不超过 12℃时,可适当减少循环水泵数量。当外界气温不变时,发电机组的整体运行负荷与循环水泵开启的数量及

消耗的电量呈正比。当负荷不变时,外界气温越高,发电机组循环水泵运行数量及消耗的电量也就越多,反之越少<sup>[1]</sup>。

根据实际运行情况,该电厂在外界气温较高的夏季工频运行两台循环水泵刚好满足实际要求,在其他气温较低的季节凝汽器冷却循环水进出口温差较小,工频运行两台循环水泵会浪费能耗,而运行一台时却无法满足不同需求;当机组运行负荷在 35MW 左右时运行一台循环水泵刚好合适,趋于满负荷运行时两台循环水泵刚好满足要求,而在其他负荷区间时,通过控制循环水泵工频运行的数量虽然也能满足实际需求,但是却也造成了浪费能耗。变频调控技术可以解决这一问题,因此,本文在此提出了变频节能改造方案。

## 2 变频节能分析

(1) 为符合安全生产需要,很多大型机械设备都会在电动机设计中设计一定的余量。而实际生产中设备往往不需要达到满负荷运行就能满足实际生产要求,此时,一直工频运行就造成了过多的电能消耗。因此,可以在保证满足生产需要的同时通过降低电动机转速来实现节约能源、降本增效。

(2) 动态适应负载节能技术可以有效地控制电动机设备的负载,该技术的运用不仅可以向电动机提供稳定的电压,同时还可以有效控制变频器,对变频器设备进行实时监测,确保电动机设备的运行质量。

(3) 现阶段变频系统还可安装 V/F 功能,以此来实现电动机设备节能,应用 V/F 功能可有效减少输出转矩,同时还可通过对 V/F 曲线进行调节来降低

电动机能耗<sup>[2]</sup>。

(4) 众所周知,电动机设备启动时转矩一般很大,这使得电动机的启动电流一般可达到电动机额定电流的5~7倍,甚至更高,造成了大量的能源消耗,同时,大型电动机启动时也会造成供电电网的剧烈波动,影响电网运行质量。借助变频器设备可有效降低启动电流,实现电流稳定缓慢增加,降低能耗的同时也保证了电网的运行质量,除此之外,变频启动电动机设备还可以减少电动机受惯性速度的影响,降低了电动机损耗,进而延长了电动机的整体运行寿命。

(5) 电动机设备是依靠电磁作用产生定子和转子绕组转动力矩来进行运作的,在此过程中由于全电阻感应特性,电动机会从供电电网中吸收无功导致功率因数降低。采用变频系统可将电动机设备运行转为AC-DC-AC模式,然后再通过整流滤波,优化电动机运行性能,进而提升设备的功率因数,降低设备无功损耗,以此来实现设备节能<sup>[3]</sup>。

### 3 变频改造方案分析

#### 3.1 变频改造方案

本次改造是在原有的每台循环水泵系统基础上各增设一套6.3kV变频调速系统,采用一拖一的方案来实现电动机设备的有效节能。改造前后循环水泵的一次回路图如图1所示。

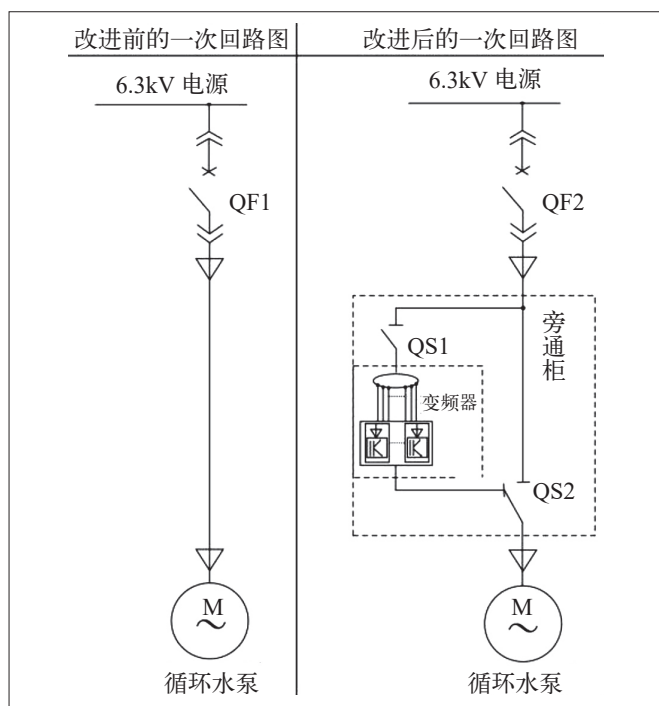


图1 改造前后循环水泵的一次回路图

图1中,QF1是循环水泵原有6.3kV电源开关。QS1和QS2是隔离开关,与变频器、旁通柜及其他控制元件组成新增的变频控制系统。QS1与QS2连锁,QS1合闸后QS2才能合到变频位置。QF2与旁通柜柜门连锁,即QF2合闸后旁通柜柜门不能打开。

操作说明:

(1) 循环水泵变频运行操作过程,先确定QF1为断开位置后,将QS1合上,再将QS2投入到变频位置,然后发启动指令,变频器充电完成后自动合上QF1,变频器带循环水泵变频运行;

(2) 循环水泵变频停止操作过程,发停止指令,变频器自动降低运行频率,至0Hz后自动断开QF1;

(3) 变频切换工频操作过程,先发停止指令,变频器频率降低至0Hz后自动断开QF1,再将QS2投至工频位置,再断QS1,最后合上QF1,循环水泵工频运行;

(4) 工频切换变频操作过程,先断QF1,再合上QS1,将QS2投至变频位置,然后发启动指令,变频器充电完成后自动合上QF1,变频器带循环水泵变频运行;

(5) 检修变频器时将QS1分断,QS2放在工频位置;

(6) 检修旁通柜或循环水泵时将QS1分断,QS2放在工频位置,将QF1放在试验位置,合上高压开关接地刀闸。

逻辑调整:循环水泵受变频器控制时,要求变频器与循环水泵出入口电动阀门及出口压力逻辑连锁。只有当变频器指令反馈值超过65%,入口阀门已打开,且出口压力达到0.08MPa时,才可开启循环水泵出口阀门,其他运行逻辑不变。

#### 3.2 变频器的选型

早期,高压变频器大多为可控硅整流及逆变器等设备构成。虽然此类变频器可以有效控制电动机能耗,但却存在谐波高、容易导致电网波动等缺陷,随着科技发展,现今变频器采用了IGBT、IGCT、SGCT等新型电气元件,实现了PWM逆变甚至整流,在减少运行谐波的同时也提高了设备的功率因素。

根据生产需求,一般可分为以下几种情况:

(1) 额定电压为380~660V的三相异步电动机,可选用“AC-DC-AC”模式的变频设备;

(2) 额定电压为1.1~3.3kV的三相异步电动机,可选用“二极管钳位式三电平”模式的变频设备;

(3)额定电压为 6.3 ~ 10.5kV 的三相异步电动机, 可选用“串联 H 桥”模式的变频设备;

(4) 针对运行在高压、高温、高海拔区域环境的电动机设备需采用专门设计的特殊变频设备。

根据变频器匹配原则, 变频器输出电压与电动机额定电压应当匹配; 变频器额定电流需大于电动机运行时的最大电流; 远距离安装时需加大变频器容量。为了保证安全生产, 减少变频器设备运行过载概率, 变频器容量一般为电动机额定功率的 1.1 ~ 1.5 倍<sup>[4]</sup>。

该火电厂循环水泵电动机的额定功率为 560kW, 新增变频设备距离电动机少于 30m, 因此综合考虑选择容量为电动机额定功率的 1.25 倍, 即 700kW 即可。变频器电压等级需与电动机匹配, 因此变频器电压等级为 6.3kV, 选用“串联 H 桥”模式变频器。根据现场实际情况, 循环水泵进出口电动阀为开关型, 可根据凝汽器循环冷却水进出口温差状况来调节电动机频率, 进而改变水泵转速来调节冷却水量, 保持温差在合理范围内。运行中变频器变频范围在 0 ~ 50Hz, 即转速的调控范围为 0 ~ 980r/min, 水泵出口流量范围为 0 ~ 7000m<sup>3</sup>/h, 2 台泵变频运行时总流量可达 14000m<sup>3</sup>/h, 根据实际运行需求来变频调控冷却水量, 更有利于不同环境温度、不同机组负荷工况下循环水泵的经济调度及节能减排。

## 4 循环水泵变频改造成果分析

### 4.1 循环水泵变频改造系统构成

本次改造方案新增的 6.3kV 高压变频系统(图 2)主要包含旁通柜、变压器柜、功率单元柜(也称逆变柜)及控制柜四个部分<sup>[5]</sup>。其中, 旁通柜主要由 6.3kV 高压开关及其控制回路构成, 可实现整个变频系统高压电源的通断及在变频器退出运行时, 让循环水泵直接挂接工频电网运行; 变压器柜主要由移相变压器、温度控制器、冷却风机等部件构成, 可将 6.3kV 工频高压电源降为 690V 低压电源提供给每个功率单元, 同时将每个功率单元输入隔离以便于波形叠加, 采用移相多脉冲整流方式, 降低输入谐波含量; 功率单元柜由冷却风机、滤网、柜门、功率单元等组成, 功率单元共 18 个, 上中下分别 6 组构成 U 相、V 相、W 相, 每个功率单元可等效为一个低压通用变频器, 可单独进行整流、滤波、逆变等功能, 当其中一个单元出现故障后可直接将其切除出去且不影响变频系统的继续运行; 控制柜由充电电阻、触



图 2 循环水泵新增的 6.3kV 高压变频系统

摸屏、主控电路板、PLC 模块、继电器、交流断路器等构成, 可实现循环水泵的就地及远程启停控制及对变频系统的保护。

### 4.2 循环水泵变频改造运行结果分析

通过改变频率来调节电动机转速从而调节冷却水量, 进而控制凝汽器冷却循环水进出口的温差, 温差较小时可降低频率, 节约能耗, 过大时增加频率, 超过 12℃ 时则增加泵的运行数量, 以确保温差在规定范围内, 多台泵同时运行时需确保变频器运行频率一致。循环水泵变频改造后 DCS 系统操作画面如图 3 所示。

经过改造后循环水泵在改变频率而其他条件不变的情况下运行时, 不同频率的运行记录如图 4 所示。

## 5 循环水泵变频改造总结

在机组满负荷运行时, 2 台循环水泵运行, 未改造前单台循环水泵工频稳定运行电流为 64.4A, 改造后根据现场实测数据统计, 夏季单台循环水泵变频运行时电流平均为 57.6A, 春秋季节为 53.5A, 冬季为 51.1A。

因此, 夏季节约电能约为:

$$2 \times \sqrt{3} \times U \times \Delta I \times \cos \varphi \times 24 \text{h} \times 90 = 2 \times 1.732 \times 6.3 \times (64.4 - 57.6) \times 0.84 \times 24 \times 90 = 269252.9 \text{kW} \cdot \text{h}.$$

春秋季节节约电能约为:

$$2 \times 1.732 \times 6.3 \times (64.4 - 53.5) \times 0.84 \times 24 \times 180 = 863193.1 \text{kW} \cdot \text{h}.$$

冬季节节约电能约为:

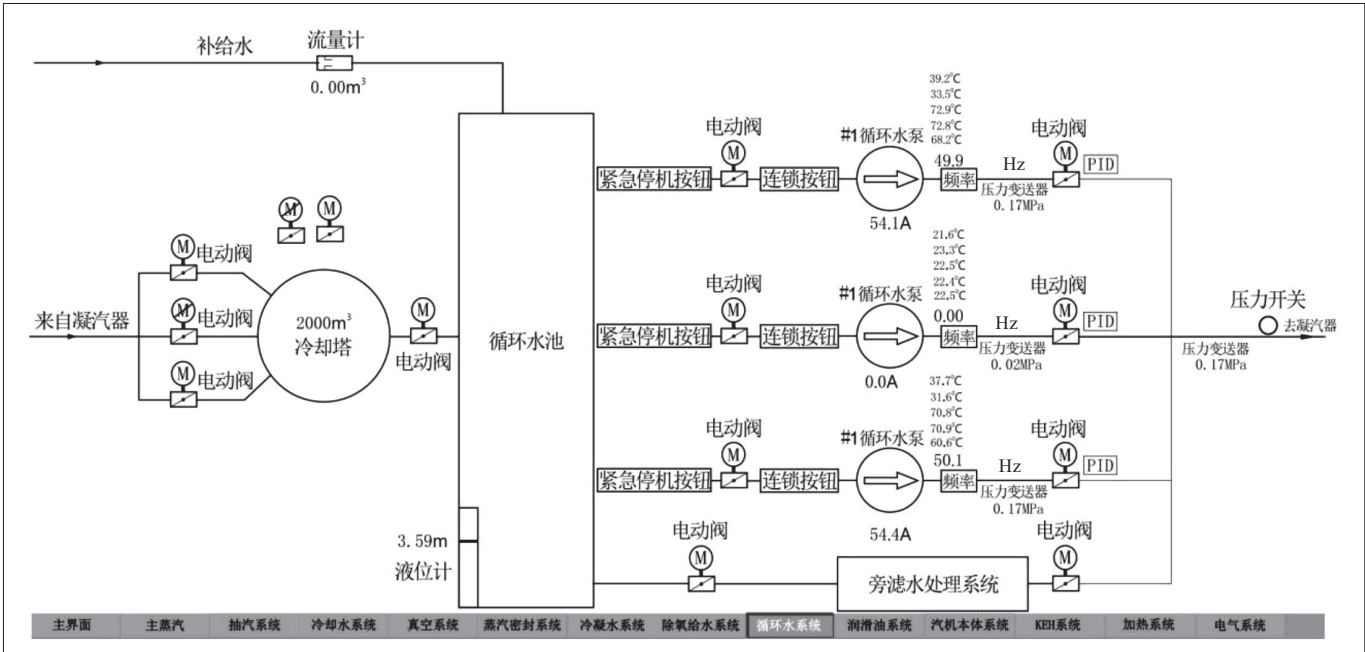


图 3 循环水泵变频运行 DCS 操作图

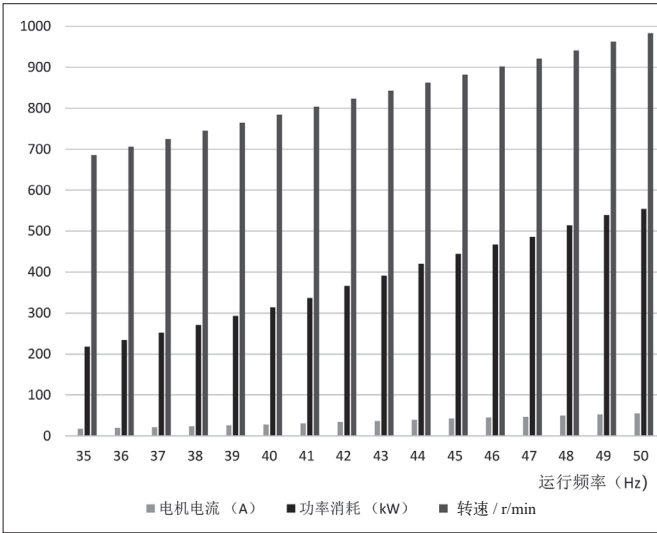


图 4 改造后循环水泵变频运行记录

$2 \times 1.732 \times 6.3 \times (64.4 - 51.1) \times 0.84 \times 24 \times 90 = 526627.0 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

一年可节约总电量： $269252.9 + 863193.1 + 526627.0 = 1659073 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

电厂发电成本折合人民币约为 0.4 元 /  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，因此每年节省费用为  $1659073 \times 0.4 = 663629.2$  元，即每年节约电费约为 66 万元，变频改造总费用为 115.4 万元，2 年节约费用即可覆盖变频改造费用，而后产生效益。经变频改造后，在满足电厂运行要求的基础上，不仅节约了成本，提高了循环水系统运行的可靠性，也降低了循环水泵本体的损耗，延长了设备的运行寿命，

降低了系统维护成本，同时也实现了节能减排，有利于持续发展。

6 结语

综上所述，为有效减少火力发电厂运行过程中产生的能耗，要对循环水泵运行方案进行优化和调整，应用变频器设备制定对应的改造方案，能够在满足机组运行效率的前提下节约能源，创造效益，减少碳排放，促进火力发电行业健康发展。

参考文献：

[1] 谷文超. 电机节能降耗技术和方法探讨 [J]. 化工管理, 2016(33): 128.  
[2] 吴杰. 变频器的节能原理及其应用 [J]. 华东科技: 学术版, 2017(06): 379.  
[3] 马彦伟. 火力发电厂循环水泵节能改造 [D]. 大连: 大连理工大学, 2019.  
[4] 高山, 庞训勇. 火力发电厂循环水泵变频改造节能分析 [J]. 现代国企研究, 2015(20): 127.  
[5] 平宝德, 姚绍辉, 吴海锋. 浅谈电动机调速控制方式 [J]. 工程建设与设计, 2017(21): 87-88.

作者简介：范靖（1988.03-），男，汉族，湖南衡阳人，本科，工程师，研究方向：项目施工管理。