

# 火电厂凝结水泵高压变频改造应注意的问题

郭伯春

(四川广安发电有限责任公司, 四川 广安 638000)

**摘要:**针对当前火电厂凝结水泵高压变频改造现状,从“电气改造方案”、“保护功能”、“控制策略”三个方面,阐述了改造应注意的问题。并以广安电厂 600 MW 机组凝结水泵高压变频改造为例,论证了注意这三方面问题的必要性和可行性。

**关键词:**凝结水泵;高压变频;改造;电气;保护;控制策略

**Abstract:** Aiming at the current reforming situation of high-voltage frequency conversion of condensate pump in thermal power plants as viewed from the electrical reforming scheme, protection function and control strategy, the problems needing attention in the reforming are described. Taking high-voltage frequency conversion reforming of condensate pump of 600 MW units in Guang'an Power Plant for example, the necessity and feasibility of the above-mentioned three aspects are demonstrated.

**Key words:** condensate pump; high-voltage frequency conversion; reforming; electricity; protection; control strategy

中图分类号: TM769 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)03-0087-05

## 0 前言

近年来,随着国产高压变频器技术的逐步成熟和节能降耗的深入,国内许多火电厂相继进行了凝结水泵高压变频改造。从现有的改造结果来看,在电气改造方案选择上,存在不熟悉各方案特点、选择时盲从跟风现象,保护功能上,存在轻视片面、考虑不周现象,特别是控制策略上,存在对系统了解不够、控制就简等现象,这些现象,导致改造投资金额较大,系统安全性和稳定性不高,自动调节能力较差,未能充分发

挥高压变频能力,节能降耗还有待进一步提高。下面以广安电厂三期工程 2×600 MW 机组凝结水泵高压变频改造为例,分别从电气改造方案、保护功能和控制策略 3 个方面,谈谈火电厂凝结水泵高压变频改造应注意的一些问题。

## 1 电气改造方案的选择

综合当前国内凝结水泵高压变频改造的成果来看,方案很多,其中最典型的有以下 3 种方案。

### 1.1 采用“一拖一”,隔离刀闸通断电源

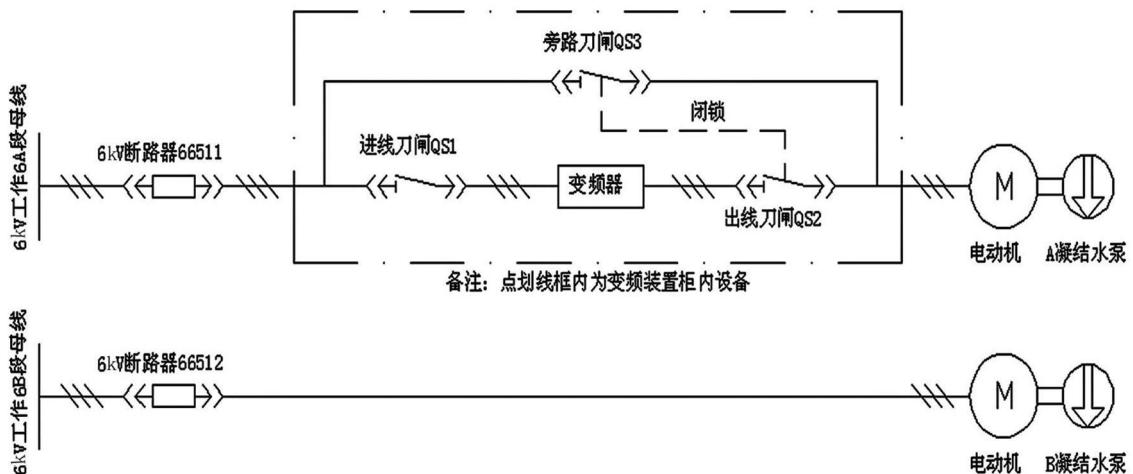


图 1 采用“一拖一”,隔离刀闸通断电源的方式

变频器与电动机的连接方式如图 1 所示, A 凝结水泵采用一套变频器, B 凝结水泵仍保持原来工频运行方式。考虑变频器检修隔离方便和变频器故障带来的负面影响,增加了大旁路刀闸 QS<sup>3</sup>。

此方案设计简单,采用隔离刀闸通断电源,DCS 系统控制相对较少,节约 DCS 通道,且只新增点划线框内设备,改造费用相对较少。

由于 2 台凝结水泵采用一套变频和一套工频的连接方式,结合其一主一备的运行设计方式, A 凝结水泵会长期处于运行状态,影响其使用寿命。另外,由于采用隔离刀闸通断电源, A 凝结水泵启动前,须就地手动分合相应隔离刀闸。

### 1.2 采用“一拖二”,隔离刀闸通断电源

变频器与电动机的连接方式如图 2 所示,其实质是由一套变频器加 6 个隔离刀闸组成。利用一套变频器,通过切换隔离刀闸,可分别拖动任意一台凝结水泵电机变频运行,同时具备工频旁路功能,正常方式下一台凝结水泵变频运行,另外一台工频备用。

此方案设计结合 2 台凝结水泵一主一备的运行

设计方式,2 台凝结水泵都能变频运行,使其投入运行方式灵活,检修隔离方便,凝结水系统运行的可靠性得到了很大的提高。

由于采用隔离刀闸通断电源,凝结水泵启动前,须就地手动分合 6 个隔离刀闸,实现其投入运行方式选择,因此操作较为繁琐,另外,增加了隔离刀闸个数,接线方式较为复杂,物资费用有所增加。

### 1.3 采用“一拖二”,断路器通断电源

变频器与电动机的连接方式如图 3 所示,2 台凝结水泵采用一套变频器,通过 DCS 系统对断路器的切换操作,可实现任意一台凝结水泵变频方式运行,同时具备工频旁路备用功能。正常运行方式下,一台凝结水泵变频运行,同时具备工频旁路备用,另一台工频或变频备用,因此备用泵联动时,具体启动哪种备用方式,由故障点确定。

此方案设计充分结合 2 台凝结水泵一主一备的运行设计方式,2 台凝结水泵不仅能变频运行中切为工频运行,还能将备用泵联动为变频运行方式,使其

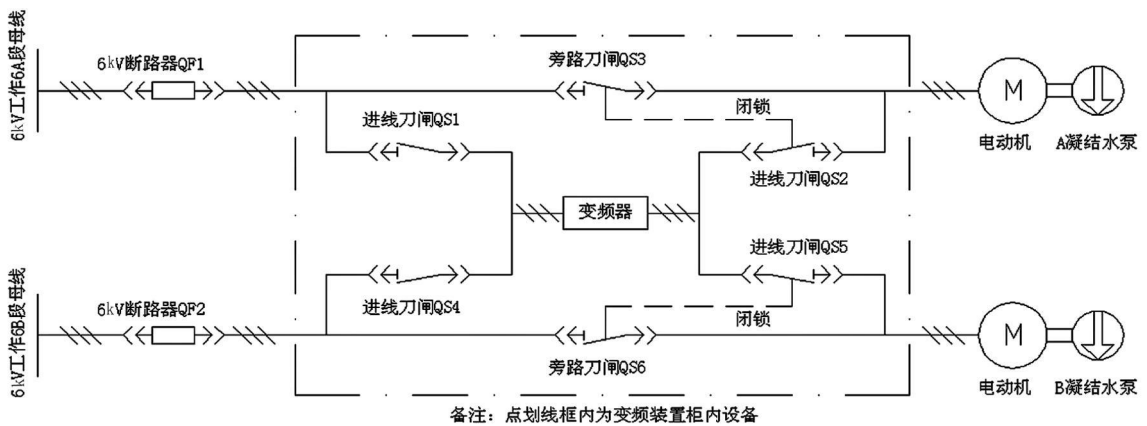


图 2 采用“一拖二”,隔离刀闸通断电源的方式

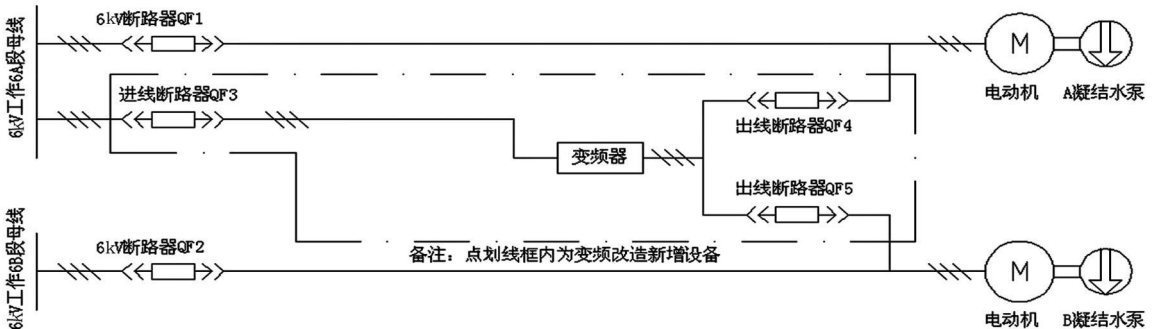


图 3 采用“一拖二”,断路器通断电源的方式

投入运行方式灵活多变,检修隔离方便,凝结水系统运行的可靠性和稳定性得到了极大的提高。

由于采用新增高压断路器来分合电源,DCS 系统须增加对高压断路器的控制,增加相应的 DCS 通道,高压断路器的价格比较昂贵,因此改造费用相对较高。另外由于 2 台凝结水泵投入运行方式很多,其保护逻辑和控制策略较为复杂。

通过对以上 3 种改造方案的比较,结合其各方案的优点和缺点,在凝结水泵高压变频改造时,应注意针对各厂自身情况,经过相关专业技术人员认证,有的放矢,选择适合自己的电气改造方案,避免盲从跟风现象发生。

广安电厂三期  $2 \times 600$  MW 工程每台机组配置两台凝结水泵,正常运行时一台工作一台备用。单台凝结水泵设计流量  $1\ 628\ \text{m}^3/\text{h}$  轴功率  $1\ 736\ \text{kW}$ , 转速  $1\ 490\ \text{r/min}$  配套电动机型号为 YKSL2500-4/1130-1, 额定电压 6 kV, 额定功率为  $2\ 500\ \text{kW}$ 。根据广安电厂当前实际情况,经过相关专业技术人员论证,选择了投资相对较少、操作简单的第一种方式,即“一拖一”,隔离刀闸通断电源的方式,电气部分与 DCS 接口清单如表 1。

## 2 保护功能的完善

凝结水泵高压变频改造,需针对选择的电气改造方案,结合凝结水系统分析,深入考虑对此系统带来的安全性和稳定性方面的影响,完善其保护功能,满足系统长期稳定运行的需要。不要认为只增加了一台变频器,保持原有保护功能不变,只需简单引入其故障保护功能,这样会严重影响凝结水系统的安全稳定性。

在此,结合广安电厂三期  $2 \times 600$  MW 工程凝结水泵高压变频改造中保护功能完善情况,谈谈在保护功能完善方面应注意的问题,特别是在热工保护方面,保持凝结水泵原有保护功能不变的情况下,另外还须引入以下保护逻辑。

### (1) A 泵启动方式判断

变频启动方式: QS1 闭合, QS2 闭合, QS3 断开。

工频启动方式: QS1 断开, QS2 断开, QS3 闭合。

### (2) A 泵运行方式判断

变频运行方式: 变频启动方式, 6 kV 断路器已合

闸,变频器运行状态。

工频运行方式: 工频启动方式, 6 kV 断路器已合闸。

(3) A 泵 6 kV 断路器合闸允许条件, 增加 (与原有条件与)

变频启动方式, A 凝结水泵变频器上电允许。

工频启动方式, 保持原有保护逻辑不变。

(4) A 泵 6 kV 断路器跳闸条件, 增加 (与原有条件或)

变频运行方式 (延时 10 s 消失), 变频器重故障, 发脉冲 2 s 泵出口门未开 (关到位未消失) 延时 30 s

非变频运行方式, 保持原有保护逻辑不变。

(5) A 泵 6 kV 断路器手动停允许条件, 增加 (与原有条件与)

非变频运行方式, 延时 10 s

(6) A 泵变频器启动允许条件

变频启动方式, 变频控制在远方, 变频器无重故障, 6 kV 断路器已合闸, 变频器已准备好。

(7) A 泵变频器自启动条件

变频器启动允许条件满足, 泵投备用启 A 泵。

(8) A 泵变频器跳闸条件

变频器重故障。

(9) A 泵变频器报警

6 kV 断路器已合闸, 非变频启动方式或非工频启动方式; 变频器已运行, 非变频启动方式; 变频器轻故障; 变频器重故障。

(10) 泵投备用启 B 泵条件, 增加 (与原有条件或)

A 泵变频运行方式, 泵出口压力低于  $1.5\ \text{MPa}$  除氧器水位低于  $1\ 800\ \text{mm}$ , 凝结水流量低于  $500\ \text{t/h}$  延时 5 s 泵出口压力低于  $1.35\ \text{MPa}$  延时 5 s

A 泵非变频运行方式, 保持原有保护逻辑不变。

(11) A 泵出口门自动开条件, 增加 (与原有条件或)

变频运行方式, 延时 10 s 发脉冲 2 s

工频启动方式, 保持原有保护逻辑不变。

(12) A 泵出口门自动关条件, 增加 (与原有条件或)

变频运行方式, 变频器停指令, 发脉冲 2 s

非变频运行方式, 保持原有保护逻辑不变。

表 1 广安电厂三期 2×600 MW 工程 62 号机组凝结水泵高压变频改造与 DCS 系统 I/O 接口清单

类型	电气部分与 DCS 接口的点名				
DI 点	进线刀闸 QS1 状态 变频器已准备好	出线刀闸 QS2 状态 变频器运行状态	旁路刀闸 QS2 状态 变频器轻故障报警	变频器上电允许 变频器重故障	变频器控制在远方
DO 点	变频器启动指令	变频器停止指令	变频器轻故障复位		
AI 点	变频器转速反馈	变频器电流反馈			
AO 点	变频器频率给定				

表 2 广安电厂三期 2×600 MW 工程 62 号机组凝结水泵高压变频改造后除氧器水位调节方式

方式种类	A 泵高压变频调节方式	除氧器调节阀调节方式	两台凝结水泵运行方式
1	手动	手动	(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)
2	手动	自动	(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)
3	自动	手动	(1)
4	自动	自动	(1)

### 3 控制策略的优化

凝结水泵高压变频改造,在确定了电气改造方案后,其自动控制策略显得尤为重要,它直接关系到凝结水系统运行的稳定性,如果存在对系统了解不够、控制就简等问题,将影响凝结水泵高压变频自动调节的投入,不能充分发挥高压变频器的作用,以至于达不到预期的节能降耗效果。

广安电厂 600 MW 机组凝结水泵高压变频改造,在现场的调试和运行中,发现变频器水位调节照搬改造前的主、副除氧器调节阀水位调节逻辑,存在除氧器水位波动大,凝结水母管压力突变,甚至引起联备用泵等异常现象,针对这些问题,通过对其自动控制策略的完善和优化,使其除氧器水位和凝结水母管压力等重要参数稳定,来满足凝结水系统各种工况的运行要求,节能降耗达到非常满意的效果。

其自动控制策略优化,主要从以下几方面入手。

#### 3.1 变频泵转速流量特性确定

由于采用凝结水泵高压变频转速代替主、副除氧器调节阀开度对除氧器水位调节,试验前,首先应从变频器自身要求和泵轴承润滑角度考虑,确定泵的最低转速,在变频器控制输出上做好低限启动,用来保护变频器和泵体及轴承;然后全开最小流量阀,需了解其转速与流量之间的特性关系,通过试验得出转速流量特性曲线;接着在机组 40% 负荷以上,除氧器调节阀全开,在保证凝结水母管最低压力要求下,尽量降低变频转速;最后综合考虑,得到凝结水泵变频控制转速下限,扩大变频控制可调节范围,充分挖掘其

节能降耗的能力。

#### 3.2 运行调节方式分析

为了优化其控制策略,结合图 1 分析,两台凝结水泵共有 7 种运行方式,分别为

- (1) A 泵变频运行, B 泵停;
- (2) A 泵变频运行, B 泵启;
- (3) A 泵工频运行, B 泵停;
- (4) A 泵工频运行, B 泵启;
- (5) B 泵运行, A 泵停;
- (6) B 泵运行, A 泵变频启;
- (7) B 泵运行, A 泵工频启。

从上述 7 种运行方式看出,只有 (1)、(2)、(6) 的方式涉及 A 凝结水泵变频,其它方式与变频改造前不变,接下来进一步分析在此运行方式上的控制策略。

高压变频改造后,凝结水泵高压变频和主、副除氧器调节阀都能调节除氧器水位,因此除氧器水位调节方式增加,结合两台凝结运行方式,可归纳为如表 2。

#### 3.3 自动控制策略优化

除氧器水位调节方式中(见表 2),4 种调节方式的自动呈递增式布置,各种方式之间相互切换时,应采用调节器输出跟踪,实现除氧器水位调节无扰切换。其中第 1 种和第 2 种方式控制策略与改造前相同,因此,主要针对第 3 种和第 4 种方式的控制策略,做相应的优化和完善。

采用第 3 种除氧器水位调节方式时,由于除氧器调节阀全开,若出现 A 泵变频器重故障等原因联锁备用 B 泵启,会对除氧器水位造成较大的扰动,因此,除了立即把除氧器水位调节方式切换为第 2 种方

式外,同时还须根据当前机组负荷计算出除氧器调节阀开度,将除氧器调节阀超弛控制关到该开度,时间为 10 s(第 2 种方式中,两台凝结水泵运行方式(2)也应考虑此逻辑)。

采用第 4 种除氧器水位调节方式时,如果两个控制对象共同作用于除氧器水位,很容易出现作用过强,引起过调,使除氧器水位发生震荡。另外,变频自动调节过程中,负荷变化引起凝结水母管压力变化较大,凝结水母管压力影响需要凝结水供水的部分设备正常运行,如低压旁路减温水,低压缸喷水减温,给水泵轴密封等。综合上述 2 个方面,把第 4 种方式优化为泵变频自动调节除氧器水位除氧器调节阀自动调节母管压力方式,压力设定值根据实际负荷自动设定经验值,运行可手动设偏值(为防止运行误操作,压力设定值做高低限制),以维持凝结水母管压力,满足最低压力要求和各用水设备的需求。为避免自动调节母管压力引起除氧器调节阀频繁动作,凝结水流量扰动,设置母管压力调节死区 0.1 MPa。

## 4 结 语

广安电厂三期 2×600 MW 机组凝结水泵高压变

(上接第 80 页)

励磁绕组电流:  $I=1\ 161.7\text{ A}$

励磁绕组功率:  $P=268\ 390\text{ W}$

试验时磁通密度的实际值

$B=(45\times 700.67)/(1\times 2\ 740.3)=1.151\text{ T}$

定子铁心轭部单位铁损

$\Delta P_{Fe}=268\ 390/143\ 929\times(1/1.151)^2$

$=1.41\text{ W/kg}$

铁心初试温度平均值为 37.6℃,90 min 时定子铁心最高温度为 43.8℃,最低温度为 38.2℃,平均温度为 42.5℃,铁心最大温升为 6.2 K,最大齿温差为 5.6 K,换算成 1 T 时的单位铁损值为 1.41 W/kg,铁心的最高温升为 4.67 K,最大齿温差为 4.23 K,合格。

## 7 结 语

频改造中,大量借鉴了当前国内其它火电厂的改造经验,重视变频改造应注意的问题,在电气方案选择上,充分考虑电厂自身情况,采用“一拖一”隔离刀闸通断电源的方式,既节约资金,又能满足生产运行的需求;在保护功能完善上,深入细致,井然有序,保证了改造后凝结水系统运行的安全性和可靠性;控制策略优化上,除氧器水位调节方式灵活多样,自动调节能力强,改善了凝结水系统运行的稳定性,充分发挥了高压变频调节的优势。经过一段时间的运行,其节能降耗效果显著,降低凝泵耗电量 30% 以上,达到了预期的改造目的,值得其他火电厂在高压变频改造时参考和借鉴。

## 参考文献

[1] 朱北恒主编. 火电厂热工自动化系统试验 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

作者简介:

郭伯春(1976),男,四川南充人,四川广安发电有限责任公司热工专业工程师,从事电厂热工仪表及自动装置技术管理与检修方面工作。

(收稿日期: 2011-01-06)

600 MW 汽轮发电机铁损试验采用两台变压器原边并联、副边串联的接线方式提供电源的方法进行试验非常成功,实测电流与计算电流基本一致,同时也解决了两台变压器副边串联后的绝缘问题。该方法实用可行,值得推广应用。

## 参考文献

[1] 四川电力试验研究院. 高压电气设备试验方法(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

作者简介:

江建明(1966),1987年毕业于成都科技大学(现为四川大学)电力系统及自动化专业,长期从事电机试验研究工作,高级工程师,1987-2008年在四川电力试验研究院工作。由于电力体制改革,四川电力试验研究院的电机专业划归四川省电力工业调整试验所,本人也随即调入,继续从事电机工作。

(收稿日期: 2011-03-01)