

# 1000MW 超超临界机组给水系统控制方案的分析研究

杨 芳

(江苏省电力设计院, 南京市江宁开发区苏源大道 58 号-3 211102)

**摘 要:** 超超临界锅炉的运行情况复杂, 控制难度大, 给水量和燃料量二者互相影响, 这给控制系统的设计与调整增加灵活性的同时也增添了复杂性。本文针对某 1000MW 超超临界机组, 分析了该机组及其给水系统的结构及控制特点, 并对超超临界机组给水系统的控制任务及控制难点进行了详述, 重点对该机组的基于中间点焓值校正、控制动态水煤比的给水自动控制系统进行了详细的分析研究, 并通过仿真试验验证了该控制方案的可行性, 对超超临界机组发电技术有着重要的意义。

**关键词:** 超超临界; 给水系统; 控制方案

## 0 引言

火电机组的给水控制系统是直流炉负荷控制与汽温控制的核心, 在超超临界条件下, 随着温度、压力参数的提高, 水汽品质由于杂质的沉淀及溶解特性也与普通机组有着明显区别, 从而导致其明显制约机组设备的使用, 并影响机组的运行参数。故本文对某 1000MW 超超临界机组水系统控制策略的分析研究, 对超超临界火力机组设备的稳定经济运行及高效性将会起到至关重要的作用。

## 1 1000MW 超超临界机组给水概述

### 1.1 机组给水系统概况

论文所选对象某电厂的 2×1000MW 超超临界机组采用上海锅炉厂有限公司生产的直流锅炉, 其采用 Alstom 技术, 型号为超超临界参数变压运行螺旋管圈直流炉、机组大小为 1000MW, 采取一次再热、单炉膛单切圆燃烧方式、平衡通风、全钢构架、全悬吊结构塔式锅炉。此电厂的给水系统采用单元制, 每台机组设置 2×50% 容量的汽动给水泵组, 其中, 每台汽动给水泵组设有不同轴的电动前置泵。单台汽泵可供给锅炉 55%BCMR 的给水量, 若其中一台汽泵故障停运, 则另一台汽泵可保证机组在 55%THA 以上工况下的给水量。

该炉型的受热区、蒸发区和过热区之间没有固定界限, 给水经过加热、蒸发, 然后经过过热器连续完成, 燃料量和给水流量都决定锅炉的蒸发量<sup>[1]</sup>。故对超超临界机组给水系统控制策略的分析研究具有普遍且重大的意义。

### 1.2 机组给水系统结构

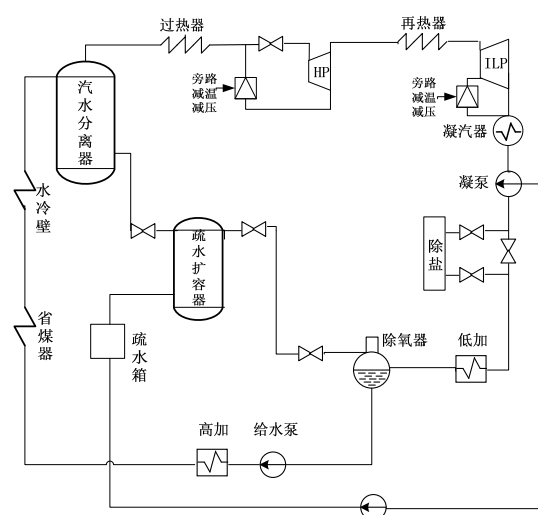


图 1 1000MW 超超临界机组给水系统简图

该机组主给水系统的主要流程如图 1 所示。首先, 由除氧器到前置泵, 经流量测量变送装置到给水泵, 然后经过高压加热器预热, 最后进入省煤器入口集箱。给水系统分为低压给水、中压给水和高压给水三部分。低压给水管: 从除氧器下水口接出至前置泵入口的管路称为低压给水管, 其上设置一个电动门和一个粗滤网。中压给水管: 从前置泵出口至主给水泵入口的管路, 称为中压给水管。管道上设有流量测量装置, 用以测量主泵入口的给水流量, 以控制主给水泵出口最小流量装置的启、闭, 保证主给水泵的安全。高压给水管: 主给水泵出口经高压加热器后送至省煤器入口联箱的管路, 称为高压给水管。

## 2 机组给水系统的控制任务与控制难点

### 2.1 机组给水系统的控制任务

直流锅炉没有汽包，其总的工质及储能会比同容量的汽包锅炉少很多，因为全部采用强制流动，直流锅炉汽水流程的流动阻力也要大于同容量的汽包锅炉。这些特点使得直流锅炉在同样幅度扰动下，其压力、幅度的变化速度均比同容量的汽包锅炉要大，同时蒸汽流量、温度也会发生相应变化<sup>[2]</sup>。

当直流锅炉以湿态方式运行时，可将其看作汽包锅炉控制，此时给水系统的任务便是保持锅炉最小给水流量的不变；当直流锅炉以干态方式运行时，燃料量与给水流量的变化均会引起锅炉内部汽水分离界面的改变，从而有可能导致锅炉的出口蒸汽温度的大幅变化。

可见，超超临界机组给水控制系统的主要任务不再是控制汽包水位，而是确保给水流量与燃料流量成一定比例的前提下，尽量保持给水流量稳定，使得给水流量满足机组不同负荷下的需求<sup>[3]</sup>。

### 2.2 机组给水系统的控制难点

大型超超临界机组是一多输入多输出的控制对象，各过程参数间的耦合关系强，且控制对象的动态特性迟延、惯性均比较大，有严重的非线性，这些因素的存在无疑对自动控制系统的性能提出了更高的要求。

对直流锅炉来讲，根据锅炉负荷的不同将煤和水的比例按照设计值进行控制，是重中之重。但由于测量系统的误差积累以及煤质的变化，加上其他因素的影响，并不能保证最终汽水分离界面等同设定值，故需通过中间点温度、焓值进行稳态校正。如果锅炉实际负荷与目标负荷相同，而中间点温度、焓值偏离了设计值，还需设计控制校正此偏差。

由以上分析可以看出，给水系统煤水比的控制是实际工程中的难点。

## 3 机组给水系统的控制策略

### 3.1 机组给水系统控制方案概述

1000MW 超超临界机组直流炉与汽包炉汽水系统方面二者差别则很大：一是汽水分界面不固定；二是启动系统比较复杂；三是控制难度大等。故直流炉的给水控制系统主要任务不再是控制汽包水位，而是确保给水流量与燃料流量成一定比例的前提下，尽量保持给水流量稳定，使得给水流量满足机组不同负荷下的需求<sup>[4]</sup>。机组采用基于中间点焓

值（汽水分离器出口焓值）校正、控制动态水煤比的给水控制策略。

此机组给水控制逻辑由前馈调节和反馈调节组成，给水指令的前馈由静态前馈和动态前馈组成，静态前馈是由锅炉负荷指令（总燃料量）经函数折算出的锅炉所需给水总量，再扣除减温水量后，作为给水的基本指令，该部分保证了稳态的燃水比；动态前馈主要为了是在变负荷时，能够提高给水的响应速度，从而能够更好的提高整个机组的负荷响应速度。给水指令的反馈是采用中间点焓值（汽水分离器出口焓值）校正，为了保证分离器出口（过热器进口）蒸汽的焓值等于给定焓值。通过给水自动控制的前馈调节与反馈调节，燃料量、给水量、蒸发量等会实现成比例调节，协调一致，确保了机组的安全。

对于该电厂来说，它的给水控制一共分为四个阶段，即启动阶段、湿态带部分负荷阶段、纯直流阶段、停炉阶段；启动阶段指的是从锅炉开始上水，直到点火以前，采用给水流量定值控制；湿态带部分负荷阶段指的是锅炉的燃烧率低于 30%BMCR，并且分离器处于湿态运行，在这个时候的锅炉给水自动用于控制分离器水位，这个过程类似于汽包炉的水位控制；纯直流阶段，是基于中间点焓值校正的控制动态水煤比给水自动；停炉阶段的给水自动主要的作用是控制分离器的水位。

### 3.2 机组给水系统控制方案主要原理图

#### 3.2.1 给水流量控制原理图

给水流量控制原理图见图 2。

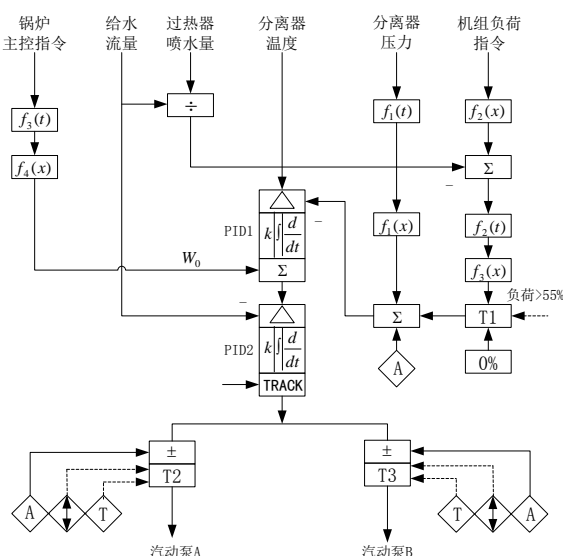


图 2 给水流量控制原理图

给水控制系统的主要任务是维持中间点温度有一定的过热度，同时以及直流锅炉可能告知燃料—给水比率的要求，给水流量还需及时响应锅炉燃料量的变化。

给水流量串级调节系统控制原理为：主调节器 PID1 以中间点温度为被调量，其输出对给水流量指令进行修正，用以控制锅炉的中间点汽温在允许范围内。副调节器 PID2 的输出为给水流量控制指令，用以控制给水泵的转速，进而维持锅炉的给水流量为给定值，确保合适的燃水比。

### 3.2.2 储水箱水位控制系统原理

储水箱水位控制系统原理见图 3。储水箱水位控制系统为一开环控制系统。储水箱的水位测量与汽包的水位测量类似。如图，系统提供三个独立的水位测量回路得到三组差压信号，满足控制逻辑三取中的要求；引入分离器压力信号，对水位差压信号进行压力的补偿，未进行温度的补偿（汽侧的平衡容器内水温 50℃，这样不太会影响计算的准确度）。

锅炉湿态运行时，分离器储水箱的水位参数是

电厂运行监控的重要参数。适当改变相应阀门（疏水调节阀）的开度，即可控制储水箱水位工作在正常水位范围内，使机组稳定运行。

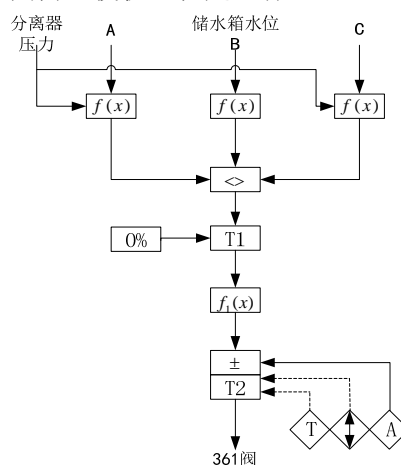


图 3 储水箱水位控制系统原理

### 3.3 机组给水系统控制逻辑图

依据上述控制原理，结合机组运行需求，设计某 1000MW 超超临界机组给水系统的控制逻辑图如图 4 所示。

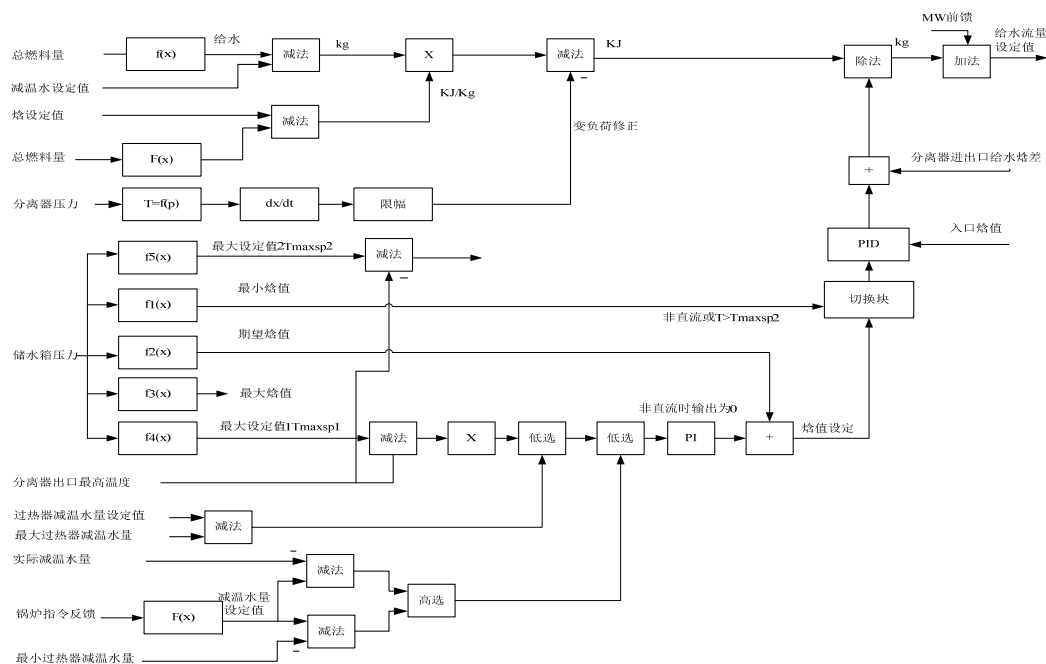


图 4 给水流量控制逻辑框图

当机组的燃烧效率小于 35% 锅炉最大蒸发量时，机组运行在非直流工况运行方式，此时给水系统控制指令用以维持 30% 的锅炉最大蒸发量，焓值校正调节器在跟踪位置。加之在湿态运行的分离器因素，此时，其主要控制分离器储水箱中的水位。

当机组燃烧率高于 35% 锅炉最大蒸发量后，锅

炉的运行工况由湿态转为干态，进入直流运行状态。故超超临界机组的锅炉给水控制分为处于低负荷状态时的汽水分离器水位控制以及处于锅炉直流运行状态时的给水流量控制。

如图 4 所示，直流工况下给水控制具体由以下四部分构成。

(1) 给水流量基本指令的构成回路。首先,其基本指令源于由总燃料量(负荷指令)结合对应函数  $f(x)$  得出较理想的给水流量目标数值(燃水比值约为 1:8);其次,加入因水冷壁入口焓偏差引起的过热蒸汽焓变化所实施的焓值修正;最后,加入一定的动态补偿便形成了给水流量的基本指令,该指令与焓值控制器输出共同构成给水流量指令,以控制两台给水泵的流量控制子回路。

(2) 焓设定值的形成回路。分离器出口焓设定值应该是实际负荷(用储水箱压力代表负荷)的函数,机组处于直流滑压运行时,上述函数  $f(x)$  输入可由分离器储水箱压力焓值代替负荷值表示,为了维持分离器出口的过热度。 $f(x)$  的设置需考虑负荷变化对分离器出口焓的不同需求。

(3) 过热器减温水流量校正回路。直流炉的给水流量的控制与减温水总量控制是相互关联的:保证汽温的稳定性是直流炉给水控制系统的主要任务之一,严密控制燃水比以粗略调节过热汽温,同时要保证后端级的减温可控。依据目标要求,给水流量与减温水流量存在相应的比值,以适应不同负荷要求;若减温水流量存在偏差,焓积分器便采取校正焓值,通过改变给水流量指令,使得减温水量逐步消除偏差<sup>[45]</sup>。

(4) 水冷壁出口温度超限控制回路。直流炉机组为避免水冷壁管超温而设有一重要保护,即当水冷壁的出口温度超过直流炉相应负荷的温度保护值时,便发生 MFT(主燃料跳闸)。因而,在直流炉的给水系统控制中增加两个避免管壁超温回路(限值)。在其中一控制回路中,当管壁出口温度中最高值大于限值时,焓值的设定值将由焓积分器逐步减少,同时给水流量将予以增加,二者共同作用使得壁管温度降低;若此限值功能未能有效控制壁管温度,其温度超过另一更高限值,另一限值回路便将焓值的目标值快速降至最低限,从而迅速加大给水流量,迅速遏制壁管温度的上升。之后,由动态环节逐步将焓值目标值恢复至正常情况<sup>[5]</sup>。

当机组的燃烧效率处于 35% 锅炉最大蒸发量之下时,锅炉工作于非直流运行工况,分离器处于湿态运行,当给水控制系统处于循环工作模式,分离器中的水位由分离器至扩容器的调节阀进行控制;当机组燃烧率高于 35% 锅炉最大蒸发量后,锅炉的运行工况由湿态转为干态,进入直流运行状态。所以,超超临界机组的锅炉给水控制分为处于低负荷

状态时的汽水分离器水位控制以及处于锅炉直流运行状态时的给水流量控制。

## 4 机组给水系统控制方案分析

### 4.1 机组给水系统控制方案优势

该电厂以内置式汽水分离器出口作为中间点,以该点的焓值来校正动态燃水比。采用这种控制策略优点如下:

(1) 在燃料量扰动或给水流量扰动下,汽水分离器出口的微过热汽温变化要比过热汽温的变化灵敏很多,因此,通过汽水分离器出口的微过热汽温变化可以提前反映过热汽温的变化。微过热点前具有各种类型的受热面,工质在该点以前的焓增是过热蒸汽总焓增的 3/4 左右,当水煤比及其他工况发生变化较大时,该 3/4 的比例变化不大。因此,控制汽水分离器出口的微过热蒸汽的焓值等于给定值,等于间接地控制了过热蒸汽。

(2) 过热蒸汽的做功能力是通过过热蒸汽的焓值来表示的,微过热蒸汽的焓值,也就是所说的控制汽水分离器出口的焓值,它实际上是对过热入口蒸汽初始做功能力的一种控制,对负荷的控制有所帮助。焓值是一个包括温度和压力的二元函数,控制焓值最能反映出滑压运行时直流锅炉机组的做功能力。

(3) 当工质参数发生变化时,焓值变化的灵敏度就比较高,具有比较好的代表性,尤其是在接近饱和温度德时候,焓值/温度的斜率会变大,可以更加快速地反映出燃水比失调,有利于对给水进行及时修正。

### 4.2 机组给水控制策略仿真试验

如图 5 所示,在机组升负荷曲线中,随着机组负荷目标设定值的上升,A、B 小机转速均增大,同时给水流量随之增加,机组负荷也能跟踪目标值,并在一定时间内趋于稳定。

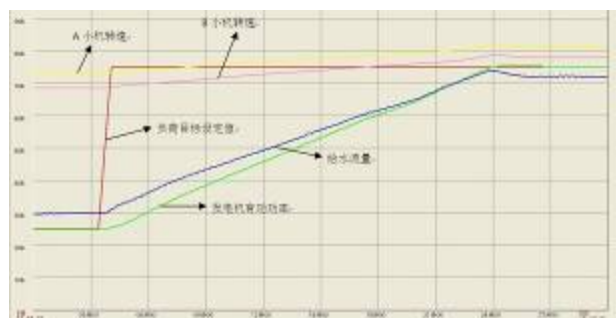


图 5 机组升负荷给水系统对应曲线

同理,如图6所示,在机组降负荷曲线中,随着机组负荷目标设定值的下降,A、B小机转速均有不同程度减小,同时给水流量随之减少,机组负荷也能较好的跟踪目标值,并在一定时间内趋于稳定。

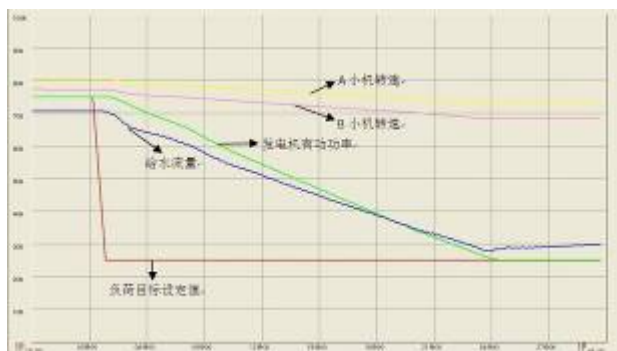


图6 机组降负荷给水系统对应曲线

综合图5与图6,两组曲线各主要参数趋势可在一定程度上反映机组采取的给水控制策略良好。

## 5 结论

本文对论文研究给水系统进行了详细介绍,分析研究了1000MW超超临界机组给水系统所采用的控制方案,即基于中间点焓值(汽水分离器出口焓值)校正、控制动态水煤比的控制策略,并通过仿真试验验证了该控制方案的合理性。一是维持过热汽温的大致不变及控制燃水比的一致性;二是能

够较快响应负荷变化。

## 参考文献:

- [1] 何畅.1000MW超超临界机组全程给水自动控制的优化与调整[J].能源工程,2010(1): 50-55.
- [2] 沈建峰,王明春. 600MW超临界机组直流锅炉启动系统及其控制特点[J].锅炉技术,2006,37(6):13-15,69.
- [3] 罗毅,祝伟,王国兴. 超临界火力发电机组热工控制技术及其应用[J]. 电力设备,2006,7(4):15-19.
- [4] 毕艳洲. 超临界直流炉给水控制系统的研究与分析[D]. 保定: 华北电力大学,2009.
- [5] 朱峰. 900MW火电机组给水控制策略及事故分析[J]. 神华科技,2010,8(5):61-65.
- [6] 高宇峰. 超超临界机组燃水比控制策略研究[D]. 北京: 华北电力大学,2010.
- [7] 樊泉桂. 超临界锅炉中间点温度控制问题分析[J]. 锅炉技术,2005,36(6): 23-26.
- [8] 潘维加,鲁峰,袁钢.超临界机组直流锅炉与汽包锅炉给水控制系统的对比分析[J]. 锅炉技术,2008,39(3): 26-30.
- [9] 徐培培,谷俊杰. 超临界直流锅炉两种给水控制系统分析[J]. 锅炉技术,2009,40(6): 21-23.

## 作者简介:

杨芳(1987-),女,陕西渭南人,助理工程师,江苏省电力设计院, E-mail: yangfangangel@126.com。