

# INFIT 系统在超超临界发电机组汽温和协调控制中的应用

徐建中, 陈益飞

(江苏射阳港发电有限责任公司, 江苏 射阳 224345)

**摘要:**直流锅炉发电机组由于控制对象大滞后,加之传统的分散控制系统(DCS)方式的局限,普遍存在负荷升降速率低、参数波动大和燃烧煤种适应性差等问题。分析了大型直流锅炉动态特点和实际控制应注意的策略,针对某超临界 600 MW 机组投产后的控制特性的不足,对 5 号机组控制系统进行优化改造,即增加了 1 套 INFIT 实时优化控制系统,介绍了该优化控制系统的基本特点和主要控制逻辑,并利用实际运行曲线说明了这套系统应用的有效性。

**关键词:**直流锅炉;INFIT 系统;优化;安全评估

**中图分类号:**TK229

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2015)03-0072-03

随着电网容量的不断扩大,为确保电网安全,国家各大电网都对机组自动发电量控制(AGC)的质量和一次调频提出明确的考核要求。机组 AGC 和一次调频功能是建立在协调控制系统具有良好品质的基础上。当前超超临界机组普遍存在负荷升降速率慢和调节精度差等问题,根据江苏省统调机组热控监督报告显示,2013 年上半年 600 MW 级机组 AGC 平均速率和精度分别为 1.26 Pe%/min 和 0.65%,低于江苏省经贸委不低于 1.5Pe%/min 和不高于 0.5% 的标准要求。部分电厂为满足上级部门 AGC 的考核要求,通过牺牲机组稳定性进行调整,结果 AGC 和一次调频满足了考核要求,但同时机组运行稳定性变差,主汽压力、主再温度等参数波动急剧加大,给安全运行带来很大隐患。国内外科研院校对此进行了针对性技术攻关和研究,先后有多个优化控制系统应运而生,如西门子 PRORI UCC 系统等,实践证明这些优化系统对提高机组控制品质和稳定性都取得了一定效果。文中针对某超超临界发电机组控制特性的不足,介绍了东南大学 INFIT 实时优化系统在其汽温和协调控制中的应用。

## 1 直流锅炉控制要求

直流锅炉没有汽包和下降管,水冷壁管采用小管径,故制造简单、节省钢材,同时可采用超(超)临界压力参数运行,启停时间短,经济效益高。但直流锅炉也存在一些缺点,从运行操作看,直流锅炉较汽包锅炉复杂,安全性要求更高。

直流炉与汽包炉主要是汽水系统不同,直流炉的各段受热面之间没有明显的分界面,给水、燃烧和汽温调节相互影响,即一个调节机构动作,可能影响其他运行参数,给自动调节带来较大困难,这就要求有较高的自动控制水平和相应的保护措施。

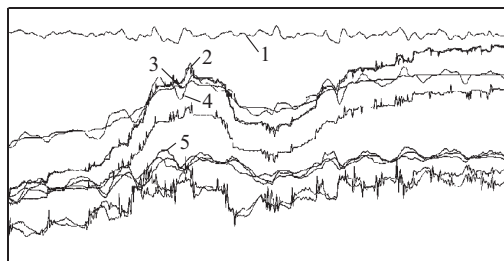
基于以上特点,在对直流锅炉发电机组协调控制策略设计时,应充分考虑以下问题:在协调控制中尽量克服纯时延、大滞后环节对控制系统稳定性的影响,尽可能加快锅炉的动态响应;尽可能保持燃烧率与给水量之间的平衡关系。在锅炉跟踪协调方式下,锅炉主控维持机前压力,汽轮机主控用于控制机组负荷,使机组的负荷响应速度较快,控制精度较高。由于机前压力波动幅度较大,按照电网调度对机组投入 AGC 的运行指标要求,在锅炉跟踪协调方式下,机组最适合投入 AGC 运行<sup>[1]</sup>。

## 2 优化前运行分析

江苏射阳港发电有限责任公司 5 号机组为 660 MW 超超临界机组,单元机组控制采用 Emerson 公司 Ovation 分散控制系统,设计包含数据采集(DAS)、锅炉燃烧控制(BMS)、热控自动调节(MCS)、顺序控制(SCS)和汽轮机电液控制(DEH)等分系统。2011 年 8 月机组投产发电,2012 年 6 月为了减小汽机调门节流损失,提高机组经济性,由单阀控制改为多阀控制。

5 号机组投入运行后,总体运行稳定,但由于锅炉燃烧煤种偏离设计煤种,特别是燃烧印尼煤以后,锅炉负荷大幅度变化时经常出现锅炉煤水比失调,不得不采用解除 AGC 和协调系统进行人工干预,期间主汽压力、主汽温度、再热汽温等参数波动较大。机组变负荷工况下参数变化曲线如图 1 所示。

由图 1 可以看出:(1) 变负荷过程中,机组主汽压力偏离设定值有时达 1 MPa 左右,并出现震荡波形。实际运行中,为防止锅炉超压运行,往往不得不在原滑压定值下增加-0.5 MPa 的偏置,降低了机组运行的经济性。调节过程中燃料量、给水量波动幅度大,对锅炉金属管材寿命有一定的影响。(2) 再热减温水用量大,不利于经济运行。由于烟道挡板调节温度存在较大的滞后,烟道挡板自动无法投入,再热汽温调节主要依靠



1 为主汽温度实际值;2 为机组负荷;3 为主汽压力设定值;4 为主汽压力实际值;5 为给水流量

图 1 优化前机组变负荷工况曲线

再热事故喷水来控制。减温水电动调门调节频繁,再热减温水用量大,不利于经济运行。

同时,机组 AGC 速率较慢,精度较差,特别是汽机由单阀改为顺序阀后,调节速率和精度水平进一步下降,2012 年 10 月份江苏省电力调度对 5 号机组 AGC 的测试结果显示,平均速率为 1.1 Pe%/min,日调节精度为 0.6% 左右,未达到江苏省经贸委的要求。

### 3 INFIT 系统改造

#### 3.1 INFIT 系统汽温和协调控制策略

火电机组之所以出现上述调节不正常现象,究其原因是随着工况和煤种的变化,被控对象动态特性将越来越差,过程的滞后和惯性越来越大,在这种情况下,常规的采用负荷指令前馈+PID 反馈的集散控制系统(DCS)调节方案已很难协调好控制快速性和稳定

性之间的矛盾。要从根本上解决问题,可将预测和神经网络控制、自适应控制、模糊控制等应用到优化控制中。INFIT 实时优化系统汽温和协调控制策略原理如图 2 所示,该系统具有如下特点。

(1) 采用预测控制技术作为闭环控制的核心环节。INFIT 系统仍采用前馈+反馈的控制模式,与常规 DCS 控制策略不同的是,控制系统中以预测控制技术取代了原有的 PID 控制,能够提前预测被调量的未来变化趋势,并进行控制,从而有效提前调节过程,可大幅提高机组协调闭环稳定性和抗扰动能力。

(2) 对机组运行特性参数进行全工况实时校正。常规 DCS 控制回路,其控制参数一经整定就不会改变,因而对日后机组工况的变化无能为力;INFIT 系统采用竞争型神经网络学习算法,实时校正机组运行中与控制系统密切相关的各种参数,并根据这些参数实时计算控制系统前馈和反馈回路中各项控制参数,使系统始终处于在线学习状态,性能不断向最优目标逼近。

(3) 对机组 AGC 模式进行了特别优化。常规 DCS 控制对于机组运行在协调控制 CCS 方式还是 AGC 是不加区分的,INFIT 系统中包含 AGC 运行模式下的特别优化模块,即采用智能预测算法,一方面根据当前 AGC 指令、实发功率、电网频率等参数实时预测“调度 EMS 系统 AGC 指令”在未来时刻的变化趋势;另一方面根据燃料量、风量、给水流量等参数预测锅炉做功能力的“锅炉热功率信号”在未来时刻的变化

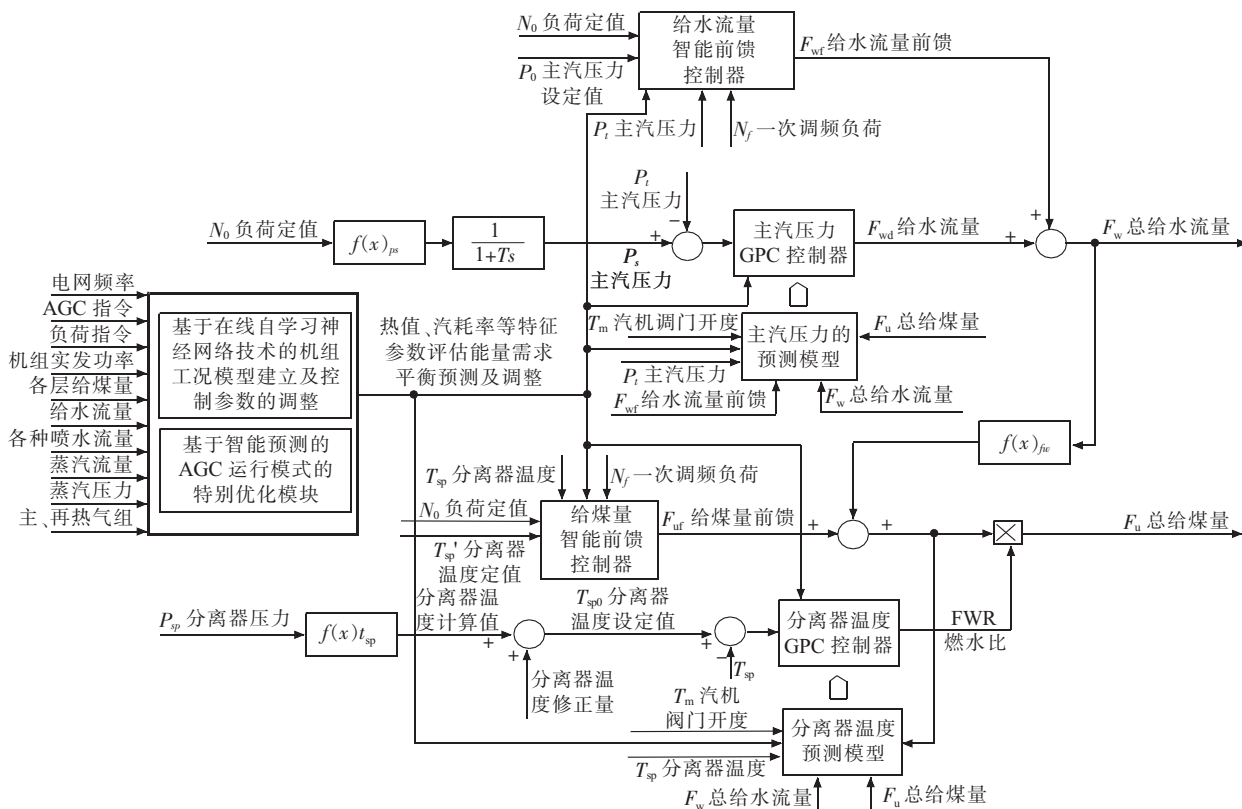


图 2 INFIT 协调控制策略原理

值,并依据这两者间匹配程度来修正锅炉指令变化量。

(4) 用大滞后控制技术对再热汽温控制系统进行优化。INFIT 将自适应 SMITH 控制技术和相位补偿技术融于一体,通过对多种大滞后控制策略的有效组合,成功实现以烟气挡板调节为主、事故喷水调节为辅的再热汽温控制,有效减少再热汽温的喷水流量,取得了明显的经济效益。

### 3.2 INFIT 控制系统安全性分析

INFIT 系统选用 Siemens S7 系列 PLC 为硬件平台,作为一个扩展 DPU 融入到 DCS 系统中。DCS 原有控制逻辑完全保留,仅增加少量切换逻辑,运行人员可以方便地在 DCS 系统和 INFIT 之间进行无扰切换。INFIT 系统能及时与机组 DCS 通过 modbus 通信融为一体,并通过多种技术来检测通信数据的正常,即使系统故障也不会出现危险,其原因有:(1) INFIT 系统以不断向 DCS 发送心跳波的方式来表征系统的运行状态,DCS 一旦检测不到心跳波,立即切回原 DCS 控制系统;(2) INFIT 系统不断检测由 DCS 侧获取的实时数据的正确性(包括上、下限,变化率等),一旦发现任一信号故障,立即将所有输出控制指令(燃料指令、给水指令、汽机调门指令等)保持,并立即切回原 DCS 控制系统;(3) DCS 侧接受到 INFIT 系统新的控制指令(燃料指令、给水指令、汽机调门指令等)后,根据当前负荷进行上、下限约束,以保证 INFIT 系统的故障不会使控制指令大幅突变。

## 4 应用效果评估

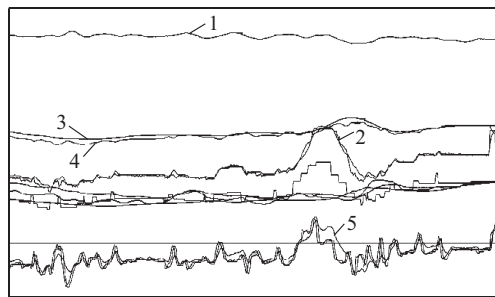
### 4.1 优化系统安装和调试

5 号机组 INFIT 系统于 2012 年 9 月机组 B 修期间完成硬件安装、DCS 组态修改并静态调试,并于 2012 年 10 月 30 日机组运行后投入,经 5 d 调试及调节参数的完善,机组的 AGC 控制和主、再汽温稳态和动态性能均有了显著的提高。

### 4.2 优化后机组调节参数分析

INFIT 控制系统投用后,5 号机组大幅度增减负荷过程中其相关重要参数变化曲线见图 3。投用 INFIT 系统后,机组即使在扰动工况下运行也非常稳定,由 550 MW 负荷快速升至满负荷时,机组主汽压力动态偏差在  $\pm 0.3$  MPa、主汽温偏差在  $\pm 4.0$  °C 之内。

2012 年 11 月份江苏省电力调度进行的 AGC 速率测试结果显示,AGC 上升和下降速率平均为 2.1 Pe%/min,远高于上级部门要求的不低于 1.5 Pe%/min 的要求;而 AGC 日平均调节精度水平也大幅度提高,由投入前的 0.6% 左右提高到 0.23%~0.32%。后经过一段时间实际在线学习,调节精度进一步提高到 0.12% 左右。



1 为主汽温度;2 为机组负荷;3 为主汽压力设定值;  
4 为主汽压力实际值;5 为给水流量

图 3 优化后变负荷时重要参数过程曲线

### 4.3 优化综合评估

(1) 机组运行更加平稳。由于采用了预测控制等先进技术,稳态工况下机组主汽压力、主汽温度的波动幅度在  $(\pm 0.2 \text{ MPa}/\pm 3.0 \text{ }^{\circ}\text{C})$  范围内;变负荷工况下,上述参数波动在  $(\pm 0.3 \text{ MPa}/\pm 5.0 \text{ }^{\circ}\text{C})$  内,提高了机组运行的稳定性,从根本上防止锅炉超温、超压。

(2) 机组运行中的燃料、给水波动大幅减小。5 号机组在 AGC 运行中的燃料、给水等控制量的波动幅度较优化前减小 60% 左右,对于减小机组设备磨损、延长锅炉金属管材寿命、减少爆管极为有利,提高了机组的安全性。

(3) 保证机组在额定工况下运行。由于调节性能稳定,彻底改变了系统投入前降低参数运行的局面,最大限度地提高机组经济性。

(4) 系统投入后,再热汽温正常情况下,均由旁路挡板进行调节,基本不再使用再热器减温水,取得了明显的经济效益。

(5) AGC 调节速率和精度提高,避免了因上述参数达不到上级部门要求每月十几万元的罚款,更提升了公司对外形象。

## 5 结束语

INFIT 控制系统的投入,使 5 号机组的 AGC 控制及主、再汽温调节水平等得到明显改善,取得了经济性和安全性双赢的效果,同时优化系统的投入大大减轻了运行人员工作量,该系统成功实施对同类型机组具有较强的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 尹峰,朱北恒,李泉.超(超)临界机组协调控制特性与控制策略[J].中国电力,2008,40(3):66-69.

### 作者简介:

徐建中(1971),男,江苏建湖人,工程师,高级技师,从事发电厂热控技术管理工作;

陈益飞(1969),男,江苏盐城人,高级工程师,从事发电厂设备管理工作。

(下转第 77 页)



有烟气冷却器组成 WGGH 系统。

系统热媒水循环流程:来自 6 号低加入口的 80℃ 凝结水→烟气冷却器,吸收烟气热量升温到 113℃→净烟气再热器,放热降温到 88℃→6 号低加,形成图 2 所示的开式循环 WGGH 系统。首套开式循环 WGGH 系统于 2014 年 7 月成功投运于苏龙热电 3 号、4 号机组。运行 6 个月后停炉检查,烟气冷却器和净烟气再热器受热面没有低温腐蚀迹象,也没有磨损、堵灰现象,系统设计和运行数据详见表 2。

表 2 首套开式循环 WGGH 系统数据

项目	烟气冷却器		净烟气再热器		
	进口烟温	出口烟温	进 / 出口 水温	进 / 出口 烟温	进 / 出口 水温
设计值	160~120	110±2	75/115	50/80±2	115/75
运行值	149	111	80/113	57/82	113/88

从表 2 可见,烟气冷却器烟气温降 38℃,净烟气再热器烟气温升 25℃,净烟气再热器水侧旁路调节阀开度 14%,返回 6 号低加的凝结水温度 88℃,成功实现了净烟气合理加热到设计排放温度,多余热量进入汽轮机低压抽汽回热系统,减少了 6 号低加抽汽量,降低了机组煤耗。

## 5 结束语

针对锅炉排烟温度变化幅度大的特点,采用开式循环 WGGH 系统是合理选择,在满足超低排放烟气温度需要的前提下,不仅使 WGGH 系统设备设计、造价合理,而且还能起到一定的降低机组煤耗的作用。苏龙热电首套开式循环 WGGH 系统的成功投运证明了该系统简单、可靠、安全,为电力行业实现超低排放净烟气加热方面提供了一种经济而有效的手段。

### 参考文献:

- [1] 赵之军,朱其远,严洪强,等.论电站锅炉排烟温度的自动控制[J].动力工程,2002,22(5):1949-1955.
- [2] 邵国桢,张兴无,赵之军,等.动态控制锅炉低温腐蚀和节能的有效措施[J].动力工程,2003,23(1):2039-2042.
- [3] 赵之军,冯伟忠,张岭,等.电站锅炉排烟余热回收的理论分析与工程实践[J].动力工程,2009,29(11):994-997.
- [4] 张基标,郝为,赵之军,等.锅炉烟气低温腐蚀的理论研究和工程实践[J].动力工程,2011,31(10):730-733.

### 作者简介:

徐志强(1973),男,江苏江阴人,高级工程师,从事火力发电厂技术创新和生产管理工作。

## Application of Ultra-low Emission Open-cycle WGGH System in Sulong Thermal Power Plant

XU Zhiqiang

(Jiangyin Sulong Thermal Power Generation Co.Ltd., Jiangyin 214442, China)

**Abstract:** Ultra-low emission requires that the gas temperature after desulfuration treatment should be above 80℃. Currently, the high temperature gas before performing desulfuration is used to heat the low temperature gas entering the WGGH system. It is found that when the boiler exhaust gas temper is high, the heat absorbed by the gas cooler is more than that needed for heating flue gas. Besides, large variations are also frequently encountered. For these issues, in this paper, we propose a open-cycle WGGH system, and the effectiveness of this system has been confirmed by field operational data.

**Key words:** boiler exhaust gas; ultra-low emission; WGGH system; energy conservation and environment protection

(上接第 74 页)

## Application of INFIT System For Steam Temperature and Coordination Control in Ultra-supercritical Power Unit

XU Jianzhong, CHEN Yifei

(Jiangsu Sheyanggang Power Generation Co. Ltd., Sheyang 224345, China)

**Abstract:** Due to the existence of large delay in the control of some objects, issues such as low temperature increase rate, large parameter fluctuation, and poor adaptability for different kinds of coal are frequently encountered in once-through boilers employing traditional DCS. Through analyzing the dynamic characteristics of large-scale once-through boilers and practically adopted control strategy, we have performed optical transform in the control system of 5# unit by installing the INFIT real-time control system. The basic characteristics and control logic of this system are introduced in this paper, and its effectiveness is also illustrated by using actual operation curve.

**Key words:** once-through boiler; INFIT system; optimize; safety evaluation

努力超越 追求卓越