

## 700 MW机组调频辅助服务控制系统优化提升

李强

引用本文:

李强. 700 MW机组调频辅助服务控制系统优化提升[J]. 南方能源建设, 2021, 8(3): 114-121.

LI Qiang. Optimization and Improvement of Frequency Modulation Auxiliary Service Control System for the 700 MW Unit[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(3): 114-121.

---

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

### 700MW机组旁路控制系统冗余控制研究与应用

Research and Application of By-pass Control System for 700 MW Unit

南方能源建设. 2019, 6(4): 54-58 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.008>

### 电能量—调频市场联合优化模式研究

Study on the Joint Optimization Mode of Electric Energy and Regulation Market

南方能源建设. 2020, 7(3): 55-61 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.03.007>

### 滑压、凝结水控制技术及协调控制系统优化策略

Optimization Strategy of Sliding Pressure, Condensated Water Control and Coordinated Control System

南方能源建设. 2017, 4(3): 53-57 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.03.010>

### 基于机理模型的汽温控制系统优化及应用

Optimization and Application of Steam Temperature Control System Base on Mechanism Model

南方能源建设. 2017, 4(2): 73-76 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.02.012>

### 新一轮电改下电力辅助服务市场机制及储能参与辅助服务的经济性研究

China's Power Auxiliary Service Market Mechanism and the Economics of Energy Storage Systems Participating in Auxiliary Services

南方能源建设. 2019, 6(3): 132-138 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.022>

# 700 MW 机组调频辅助服务控制系统优化提升

李强<sup>✉</sup>

(广东能源集团有限公司珠海发电厂, 珠海 519000)

**摘要:** [目的] 珠海发电厂两台 700 MW 机组的 DCS 系统采用日本三菱的 DIASYS Netmation 分散控制系统, 机组采用定-滑-定的变压运行方式。目前投用 AGC 方式下变负荷速率偏低、负荷精度控制性能较差, 调频响应情况较差, 汽压汽温等主要参数波动大, 调节品质差, 不利于机组的安全稳定运行。[方法] 通过控制方式建模, 结合试验数据, 得出系统设计方向。在“先控系统”实时优化控制软件包的基础构架上, 针对性设计基于先进控制技术的新型 AGC 控制、一次调频控制、机组协调控制 (CCS)、主汽温及再热器温度控制方案、通过仿真系统的模拟试验, 确定各控制回路的原始参数。[结果] 该项目实施后, 调频辅助服务外挂先控系统与主机 DCS 系统实现无扰切换, 综合调频性能显著提高。[结论] 采用外挂先进控制系统实现优化控制策略后, 大大提高了机组 AGC 综合调频性能, 达到了预期目标。采用外挂先进控制系统, 机组负荷率大幅提高、调频响应时间及精度都得到了大幅提高, 总体调频性能提升显著, 为机组参与调频市场竞争打下了良好基础。

**关键词:** 先控系统; 调频辅助服务; 一次调频控制

中图分类号: TM611; TK323

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)03-0114-08

开放科学(资源服务)二维码:



## Optimization and Improvement of Frequency Modulation Auxiliary Service Control System for the 700 MW Unit

LI Qiang<sup>✉</sup>

(Zhuhai Power Plant, Guangdong Energy Group Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

**Abstract:** [Introduction] The DCS system of two 700 MW units adopting "constant-sliding-constant" variable pressure operation mode in Zhuhai Power Plant adopts DIASYS Netmation distributed control system, which is provided by Mitsubishi company of Japan. At present, when the units are running in the AGC mode, the load changing rate is on the low side, with the poor performance of load precision control and the frequency modulation response, while the pressure and temperature of main steam, reheater steam temperature and other main parameters fluctuate greatly with bad quality of adjustment, which does no good to the long-term safe and stable operation of the units. [Method] Through modeling of the way of control combined with experimental data, the direction of system designing was determined. Based on the basic frame construction of "Advanced Control" real time optimized control software pack, plans for primary frequency control, unit Coordinated Control System (CCS), main steam temperature, reheater temperature control and new AGC control on the basis of advanced control technology were designed in a targeted manner. Besides, with the tests of simulation system, the initial parameters of every circuit were determined. [Result] After the implementation of the project, the plug-in advanced control system of frequency modulation auxiliary service and the main frame DCS system realize undisturbed switching, and the comprehensive frequency modulation performance is significantly improved. [Conclusion] The comprehensive frequency modulation performance of AGC of the units is greatly improved and the expected target is achieved while the units adopted the plug-in advanced control system using optimized control strategy. Meanwhile, the actual load rate and the precision and response speed of frequency modulation is improved, and the comprehensive frequency modulation performance is obviously enhanced, which lays a solid foundation for the units to participate in the frequency

收稿日期: 2021-04-12 修回日期: 2021-05-06

基金项目: 广东省能源集团珠海发电厂调频辅助服务控制系统改造项目(ZHP-PW-191016)

modulation market competition.

**Key words:** advanced control system; frequency modulation auxiliary service; primary frequency control

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

广东省能源集团珠海发电厂两台 700 MW 机组, DCS 系统实现的功能包括数据采集系统 (DAS)、模拟量控制 (MCS)、顺序控制 (SCS)、锅炉炉膛安全监控 (FSSS)、汽机旁路控制 (BPC) 等, 机组在投用 AGC 方式下存在变负荷速率偏低、负荷精度控制性能较差, 一次调频响应情况较差, 汽温汽压等主要数据偏离设定值较大, 不利于机组安全稳定运行, 且机组综合调频性能指标  $K$  值水平偏低。随着我国调频辅助服务市场的建立, 由于珠海发电厂两台机组综合调频性能指标  $K$  值偏低, 无法成为电网中标机组, 经济损失巨大, 所以需要设计一种适应调频市场环境的控制策略, 保证控制系统既能满足电网频率控制需要, 又能适应调频服务市场化的特性要求<sup>[1-3]</sup>。由于珠海发电厂 DCS 系统采用三菱公司提供的 DIASYS Netmation 分散控制系统, 该系统在线修改逻辑存在重大安全风险, 所以根据珠海发电厂实际情况, 在不改变 DCS 系统的原有控制功能的情况下, 设计独立于 DCS 控制系统的专用第三方优化控制系统 (PLC), 并采用先进的控制技术 (预测控制、模糊控制等), 在机组 300~700 MW 负荷段来实现机组的 AGC 控制、一次调频、协调控制、主汽压控制、主汽温控制、再热汽温控制的等控制系统的功能优化, 从而全面提高机组 AGC 控制、机组综合调频性能指标  $K$  值和运行参数稳定性<sup>[4]</sup>。

## 1 优化方案

### 1.1 优化策略

采用外接的先控系统实现控制系统优化, 对机组 CCS 控制系统及相关子系统进行相应的优化和机组升降负荷试验, 实现机组风、煤、汽温和机炉协调的自动控制, 提高机组 AGC 负荷响应能力, 提高在调频辅助市场环境下的机组响应特性和机组综合调频性能指标  $K$  值, 使机组的调频辅助服务综合能力排位在同类机组中处于领先水平。

### 1.2 硬件配置

目前, 珠海发电厂 DCS 系统各控制回路采用的

是 PID 控制器为基础的控制方式, 该方式属于事后控制方式, 控制效果欠佳。为了提高机组的机组负荷、主汽压力、汽包水位、主蒸汽温度、再热汽温度等的控制品质, 采用一个外接 PLC 系统, 将各控制回路的控制策略封装于此, 通过专用通讯卡件与 DCS 进行数据交互。主要控制硬件系统设计示意图如下:

如图 1 所示, 外挂系统与主机 DCS 系统采用标准的 RS232、RS485/422 连接方式, 使用 MODBUS 通讯协议, 还需要从外挂系统引一根 RJ45 网线到工程师站, 连接上位机, 方便调试和收集历史数据。



图 1 外挂系统硬件配置图

Fig. 1 Hardware configuration of plug-in system

通讯卡起到桥梁作用, 将不同控制系统之间的信号进行有效交互, 从 DCS 系统中采集相关信号至外挂系统, 经过外挂系统中的先进控制策略, 输出相应的模拟量信号去控制现场设备。

### 1.3 先控系统控制原理图

该先进控制系统主要包括 BM、TM 的控制, 以及一二级减温水和再热器减温水的控制, 各个先控回路采用集成化封装, 便于系统的维护<sup>[5-7]</sup>。各回路主要采用多种算法相结合的新型先进控制器 APC-PID。

先进控制器 APC-PID 内部原理如图 2 (a) 所示, 通过一种近似滑动窗滤波器 (Approximate sliding window filter, ASWF) 可构造出高性能积分器, 仿真试验证明该积分器具有比常规积分器更高的效率<sup>[8]</sup>。

通过超前观测可以提前获取系统响应的信息, 常见的超前观测形式有: D、PD、相位超前校正等。图 2 (b) 所示为具有高相位超前效率的高性能

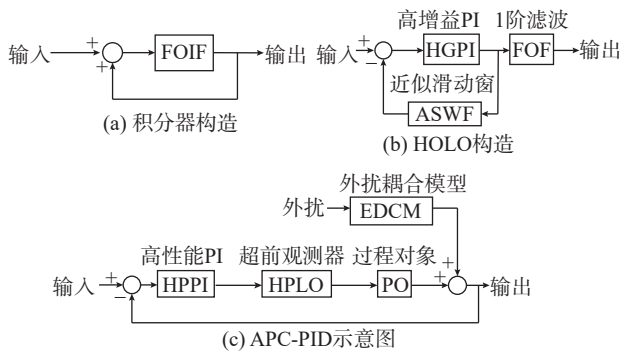


图 2 控制器构造示意图

Fig. 2 Schematic diagram of controller structure

超前观测器 (HPLO)。通过一种高增益 PI (High gain PI, HGPI) 控制器, 实现了 ASWF 的逆变换。对逆变换的输出进行 1 阶滤波, 得到 HPLO。

在高性能 PI 控制器 (HPPI) 和超前观测器 (HPLO) 的基础上, 构造出一种先进控制器 (APC-PID), 如图 2 (c) 所示。

搭建好先进控制器 (APC-PID) 后, 再使其与 DCS 系统中的锅炉主控、汽机主控、过热器再热器温控制等控制回路配合, 实现 DCS 系统各控制回路的优化控制。各回路典型原理参见图 3~图 7。

## 2 控制对象特性测定

### 2.1 需要测定控制对象的主要控制对象

为了快速、准确整定控制系统相关控制参数, 分别在 40%~50%Pe、60%~70%Pe、80%~90%Pe 负荷段 (低、中、高负荷) 进行以下控制对象特性测试。

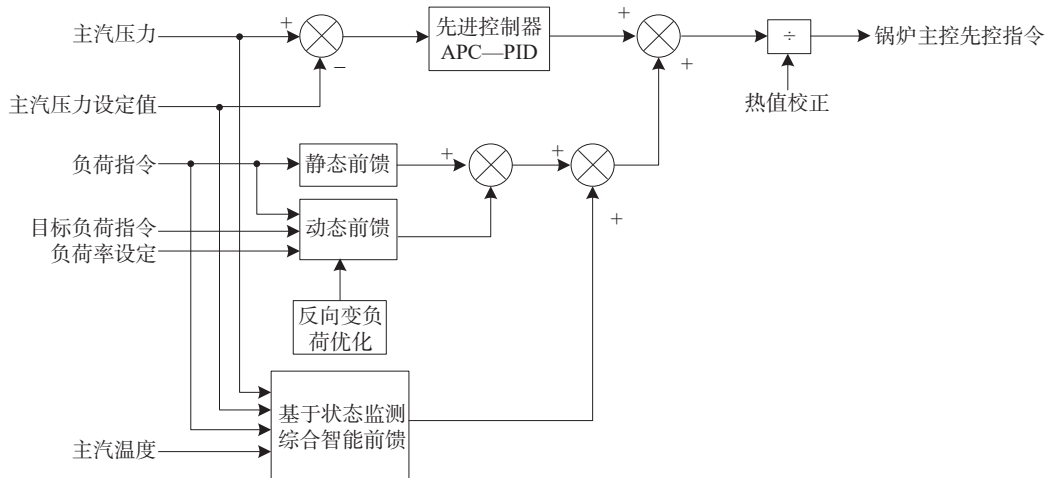


图 3 锅炉主控先控原理图

Fig. 3 Schematic diagram of master and advanced control of the boiler

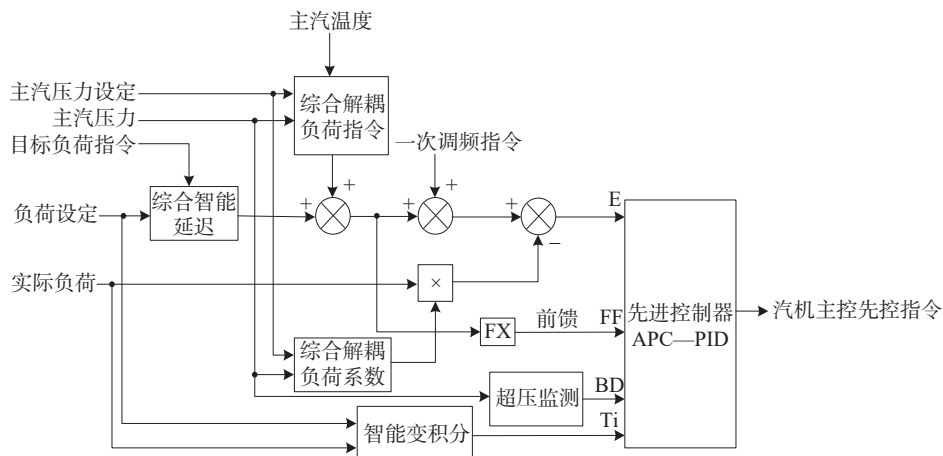


图 4 汽机主控先控原理图

Fig. 4 Schematic diagram of master and advanced control of the turbine

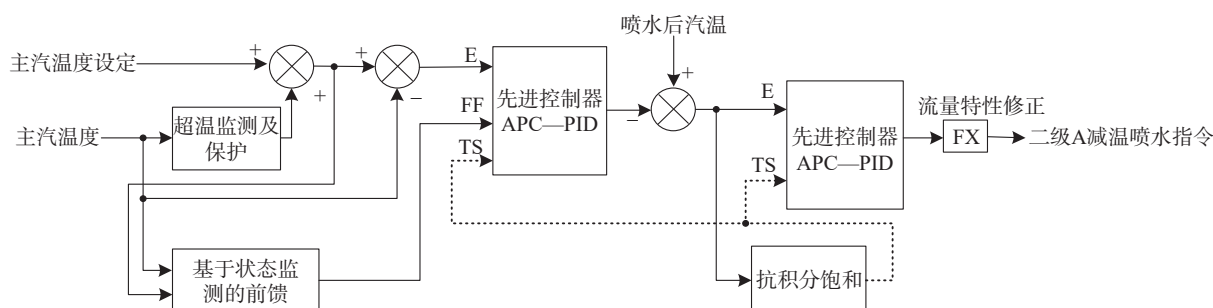


图5 过热汽温先控原理图

Fig. 5 Schematic diagram of temperature advanced control for super heat steam

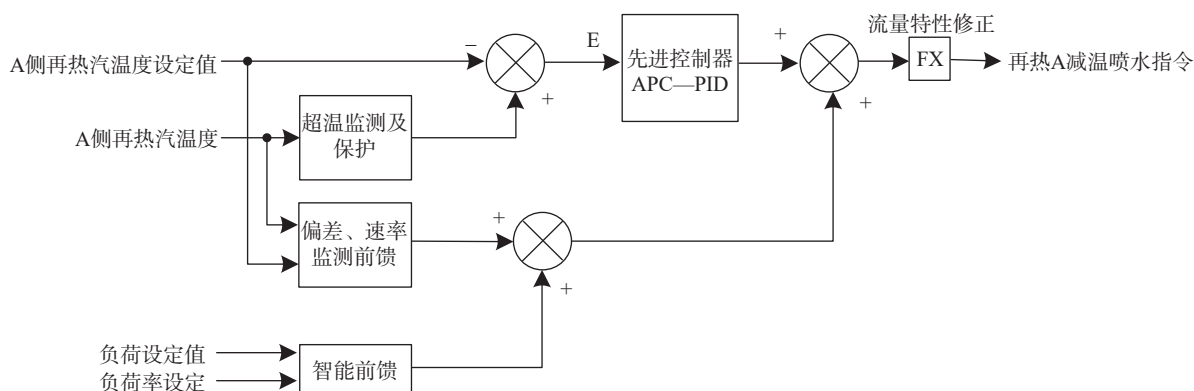


图6 再热汽温微量喷水先控原理图

Fig. 6 Schematic diagram of spray water advanced control for reheat steam

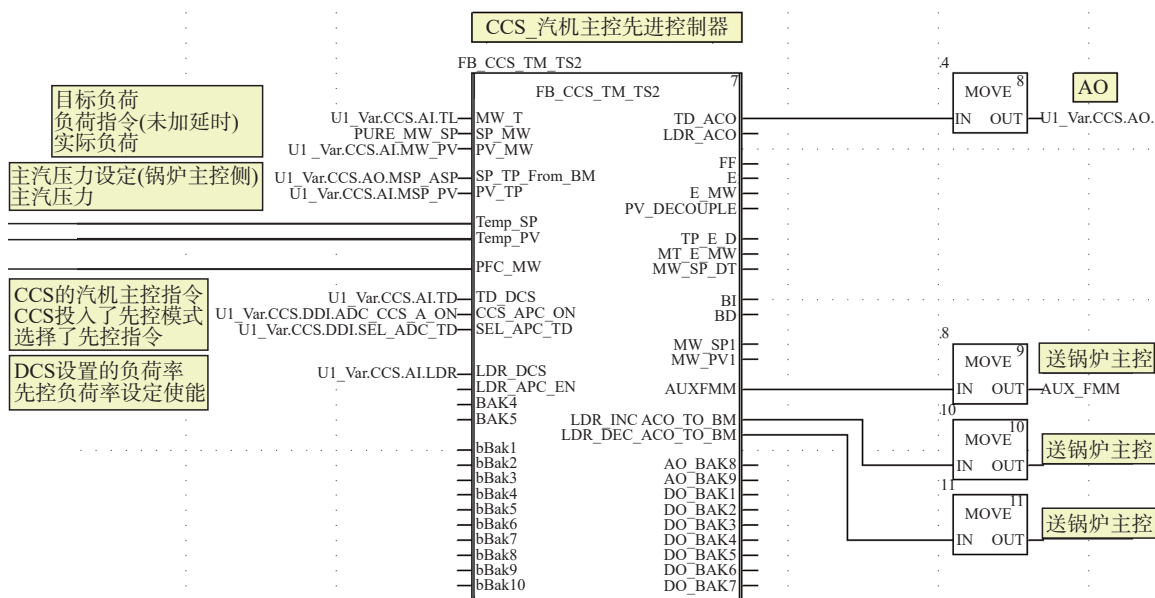


图7 先控回路的集成化封装图

Fig. 7 Integrated package diagram of the advanced control circuit



1) 燃料量扰动特性试验, 如图 8 所示:

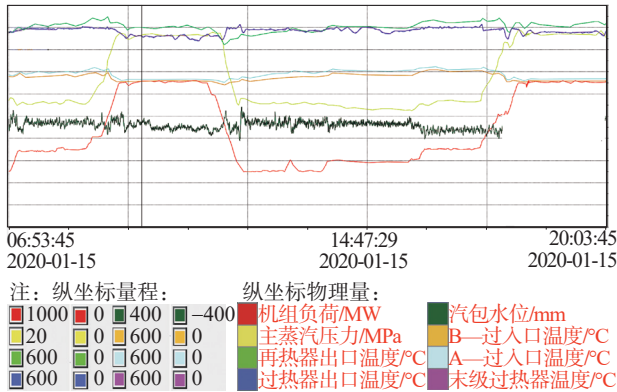


图 8 燃料量扰动特性

Fig. 8 Characteristics of fuel flow disturbance

2) 一次风压扰动特性试验, 如图 9 所示:

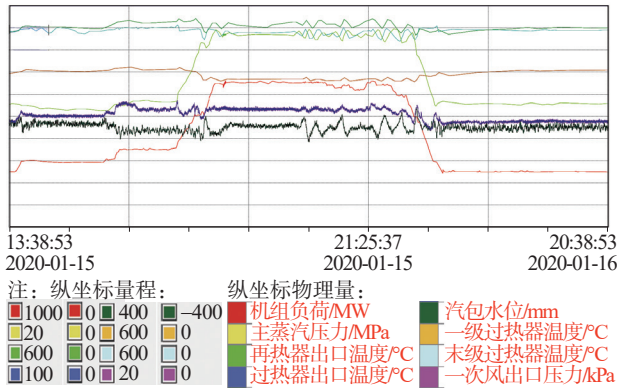


图 9 一次风压扰动特性

Fig. 9 Characteristics of primary air pressure disturbance

3) 给水流量特性试验, 如图 10 所示:

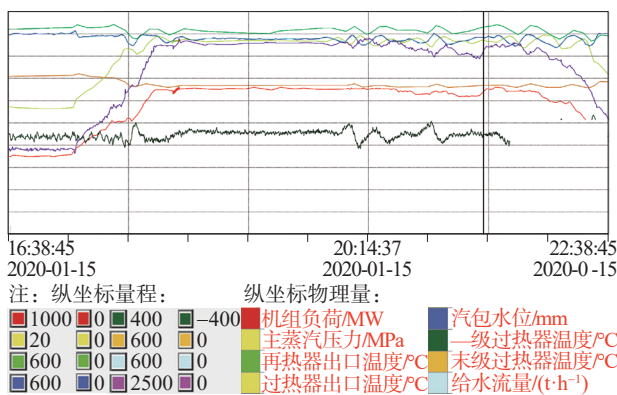


图 10 给水流量特性

Fig. 10 Characteristics of feed water flow

4) 再热汽燃烧器摆角—再热汽温特性, 如图 11 所示:

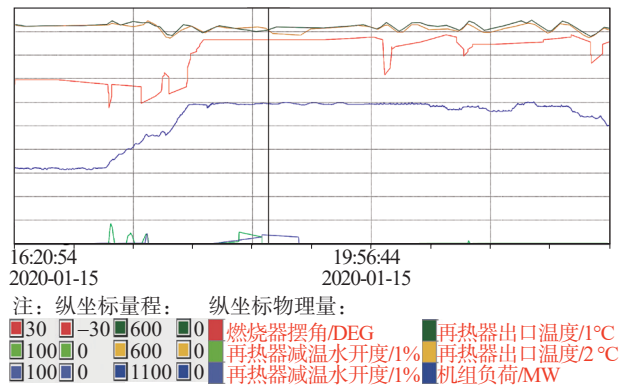


图 11 再热汽燃烧器摆角特性

Fig. 11 Characteristics of reheat steam burner tilt

5) 减温水门开度-流量特性, 如图 12 所示:

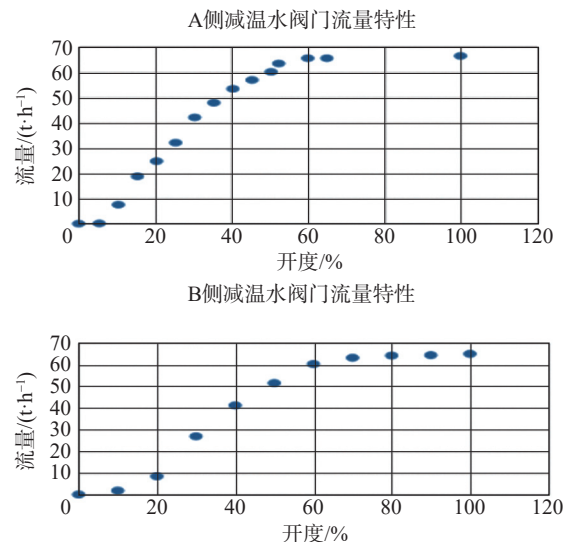


图 12 减温水门开度-流量特性

Fig. 12 Opening and flow characteristics of the spray water valve

6) 减温水流量—被调汽温及特性, 如图 13 所示.

### 3 先控系统投运及试验

完成外挂先控控制系统的硬件实施和通讯接口后, 根据控制对象特定测定, 将各控制回路建模所得数据置于先控系统中, 设定各控制回路在相关负荷段下进行运行, 检测先控系统的调节品质, 根据现场实际工况, 进一步完善各控制回路相关参数, 使其达到最优控制状态<sup>[9-11]</sup>.

计算机组性能的综合调频指标  $K$ <sup>[12-13]</sup>:

$$K = 0.25 \times (2 \times k_1 + k_2 + k_3) \quad (1)$$

式中:  $k_1$  为调节速率指标;  $k_2$  为响应时间指标;  $k_3$

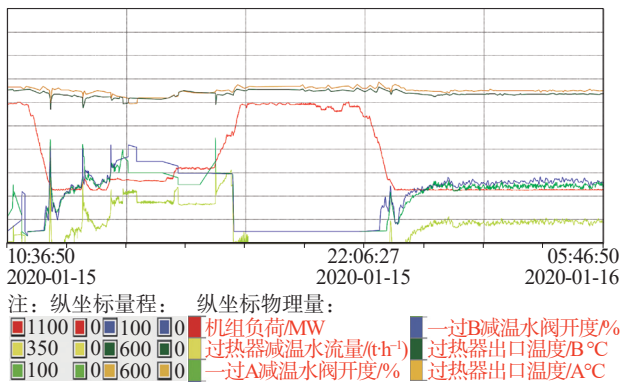


图 13 减温水流量—被调汽温及特性

Fig. 13 Characteristics of spray water flow and regulated steam temperature

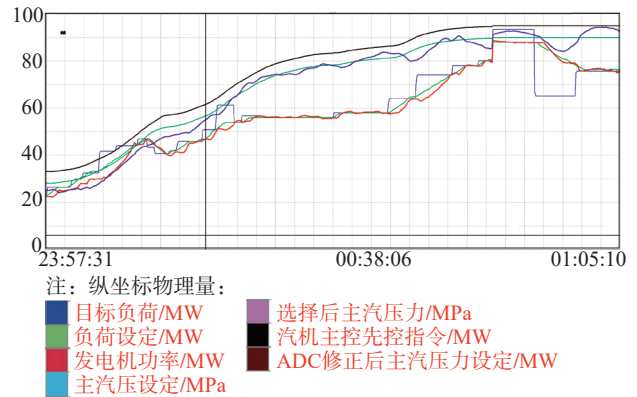


图 14 连续升负荷(300 ~ 650 MW)控制过程记录曲线

Fig. 14 Curve of continuous load increase (300 ~ 650 MW) control process

为调节精度指标。

调节品质及目标均以以上公式中的参数最优化为标准。

### 3.1 调频模式下机组变负荷试验

投入先进控制系统，在 400 ~ 700 MW 负荷范围内，机组的综合调频性能指标  $K$  的值在 1.0 以上。若综合调频性能指标  $K$  低于 1.0，则调整相关控制参数，保证综合调频性能指标  $K$  不低于 1.0。

机组在调频模式下或 AGC 调峰模式下，在 400 ~ 700 MW 负荷范围内，机组相关运行参数平稳，控制偏差满足《火力发电厂模拟量控制系统在线验收测试规程 (DL/T 657—2015)》要求<sup>[14-15]</sup>，如主蒸汽压力、主蒸汽温度、再热汽蒸汽温度、锅炉壁温、炉膛负压、氧量等参数。若相关运行参数无法满足要求，优化调整相关控制参数和控制策略，直到相关运行参数满足要求为止。

### 3.2 控制系统投运及试验结果

#### 3.2.1 大幅度连续升负荷 300 ~ 650 MW

1) 图 14 中，该机组的负荷从 300 MW 开始，逐次升负荷到 650 MW，负荷率设定为 14 MW/min，升负荷过程中有启动 2 台磨煤机的操作。

2) 各次升负荷过程中，机组负荷控制非常平稳，实际负荷与负荷设定值几乎重叠。

3) 主蒸汽压力控制平稳，最大偏差 0.53 MPa。

4) 主汽温度控制平稳，A 侧主汽温度 (SP=535 °C) 最低 526 °C，最高 545 °C。B 侧主汽温度 (SP=535 °C) 最低 525 °C，最高 545 °C。

#### 3.2.2 大幅度连续降负荷 650 ~ 300 MW

1) 图 15 中，该机组进行高负荷速率下连续降

负荷 (650 ~ 300 MW) 试验，降负荷过程中有停止 2 台磨煤机的操作。

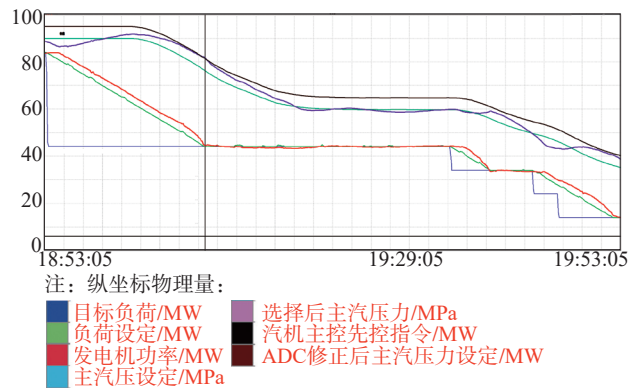


图 15 连续降负荷(650 ~ 300 MW)控制过程记录曲线

Fig. 15 Curve of continuous load reduction (650 ~ 300 MW) control process

2) 各次降负荷过程中，机组各参数运行稳定，机组负荷设定值与机组实际负荷跟随平稳且响应及时，负荷机组调频性能相关要求。彻底解决了原 DCS 控制系统主蒸汽压力波动大的问题，对主蒸汽温度的稳定也起到了较大的改善作用。

3) 主汽压力控制平稳，最大偏差 0.54 MPa。

4) 主汽温度控制平稳，A 侧主汽温度 (SP=536 °C) 最低 525 °C，最高 547 °C。B 侧主汽温度 (SP=532 °C) 最低 524 °C，最高 540 °C。

#### 3.2.3 AGC 调频模式下变负荷结果(400 ~ 480 MW)

( $K$  值分别为 1.4、1.26、1.45、1.46，均值达到 1.39)

1) 图 16 中，2020 年 07 月 02 日 3 时~7 时 (4 小时)，机组在 AGC 辅助调频模式下变负荷，机组负

荷在 400 ~ 480 MW 范围内, 根据电网频率偏差反复调节变化, 负荷率设定为 14 MW/min。

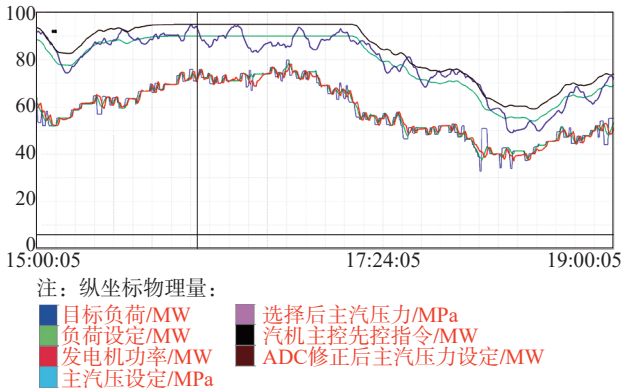


图 16 调频模式变负荷(400 ~ 480 MW)控制记录过程曲线  
Fig 16 Curve of frequency modulation mode variable load (400 ~ 480MW) control process

2) 机组 AGC 辅助调频模式下, 各次升/降负荷过程中, 高负荷变化速率下, 各相关主要参数运行稳定, 响应及时。

3) 机组 AGC 辅助调频模式下, 主汽压力控制平稳, 最大偏差 0.60 MPa。

4) 机组 AGC 辅助调频模式下, 主汽温度控制平稳, A 侧主汽温度最低 529 °C, 最高 550 °C。B 侧主汽温度最低 528 °C, 最高 543 °C。

### 3.2.4 综合调频性能指标

机组调频性能指标如表 1 所示, 综合调频  $K$  值的小时均值在 1.25 ~ 1.46 之间, 平均达到 1.34, 且每天 24 h 连续中标。调频综合性能超出预期。

表 1 综合调频性能统计

Tab. 1 Statistics of integrated frequency modulation performance

指标类型	变负荷试验动态指标	稳态指标
$K$ 值	小时均值 1.25 ~ 1.46	—
变负荷速率/% Pe/min	2%(300 ~ 700 MW)	—
负荷响应纯延迟时间/s	10 s	—
负荷偏差/% Pe	—	±0.3%
主汽压力偏差/MPa	±0.4	±0.2
主汽温度/°C	可调±6/不可调±10*	可调±3/不可调±4
再热汽温度/°C	可调±8/不可调±12	可调±3/不可调±8

根据机组实际调频辅助服务的运行结果, 满足以下各项指标要求:

- 1) 机组实际 AGC 合格率在 90% 以上。
- 2) 单机综合调节指标满足以下要求: 正常运

行期间的综合调频性能指标  $K$  值不小于 0.9。机组实际  $K$  值达到 1.25 ~ 1.46, 满足要求。

3) 在 CCS 方式下, 300 ~ 700 MW 负荷范围内, 各被调参数动静态指标如下:

在一次设备正常调节范围内, 各被调参数动静态指标满足机组相关运行参数平稳要求。

## 4 结论

为提高机组的机组负荷、主汽压力、汽包水位、主蒸汽温度、再热汽温度等的调节性能, 对协调、汽温等控制回路采用先进控制策略而创新使用的外挂先进控制系统与 DCS 系统协同控制方式, 不仅大大提高了机组 AGC 综合调频性能, 而且再热汽温、过热汽温度及主汽压力控制等控制回路在同等负荷升速率下, 较原 DCS 系统控制更为准确及稳定, 达到了优化机组调频性能, 优化机组控制回路的预期目标。采用该外挂先控系统, 能实现高负荷变化速率下, 机组各项主要指标稳定, 机组调频响应时间及精度均得到大幅提高, 机组综合调频性能  $K$  值由原来的 0.9 ~ 0.95, 提升到 1.25 ~ 1.46, AGC 综合调频性能指标明显提升, 为机组储能调频获得竞争优势打下了良好基础。

### 参考文献:

- [1] 仇进, 吴继平, 滕贤亮, 等. 调频辅助服务市场环境下频率控制技术的研究 [J]. 电力工程技术, 2018, 37(2): 1-7.  
QIU J, WU J P, TENG X L, et al. Research on frequency control technology in the market environment of frequency modulation auxiliary service [J]. Power Engineering Technology, 2018, 37(2): 1-7.
- [2] 李舒佳, 谢敏, 李建钊, 等. 电能量-调频市场联合优化模式研究 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(3): 55-61.  
LI S J, XIE M, LI J Z, et al. Study on the joint optimization mode of electric energy and regulation market [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(3): 55-61.
- [3] 易仕敏, 陈青松, 文福拴, 等. 发电厂调节性能考核的新方法 [J]. 电力系统自动化, 2009(17): 96-100.  
YI S M, CHEN Q S, WEN F S, et al. A new method for regulator performance assessment of generation units [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009(17): 96-100.
- [4] 李明, 焦丰顺, 任畅翔, 等. 新一轮电改下电力辅助服务市场机制及储能参与辅助服务的经济性研究 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(3): 132-138.  
LI M, JIAO F S, REN C X, et al. China's power auxiliary service market mechanism and the economics of energy storage



- system participating in auxiliary services [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(3): 132-138.
- [5] 陈中飞, 荆朝霞, 陈达鹏, 等. 美国调频辅助服务市场的调频补偿机制分析 [J]. 电力系统自动化, 2017, 42(12): 1-10.  
CHEN Z F, JING Z X, CHEN D P, et al. Analysis of frequency modulation compensation mechanism in frequency modulation ancillary service market of United States [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 42(12): 1-10.
- [6] 沈丛奇, 归一数, 程际云, 等. 快动缓回一次调频策略 [J]. 电力系统自动化, 2015, 39(13): 158-162.  
SHEN C Q, GUI Y S, CHENG J Y, et al. A primary frequency regulation control strategy with fast-moving and delayed-returning [J]. Technology Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(13): 158-162.
- [7] 陈晔, 陈雨果, 刘文涛, 等. 南方(以广东起步)电力辅助服务市场发展展望 [J]. 南方电网技术, 2018, 12(12): 55-63.  
CHEN Y, CHEN Y G, LIU W T, et al. Prospect for the development of power ancillary service market in Southern China (starting from Guangdong) [J]. Southern Power System Technology, 2018, 12(12): 55-63.
- [8] 李军, 黄卫剑, 万文军, 等. 一种新型反馈控制器的研究与应用 [J]. 控制理论与应用, 2020, 37(2): 411-422.  
LI J, HUANG W J, WAN W J, et al. Research and application of a novel feedback controller [J]. Control Theory and Applications, 2020, 37(2): 411-422.
- [9] 刘晓强, 王西田. 考虑主蒸汽压力变化的机组一次调频动态特性 [J]. 热能动力工程, 2008, 23(2): 140-143+214.  
LIU X Q, WANG X T. Dynamic characteristics of the primary frequency modulation of a turbo-generator under a due consideration of main steam pressure variation [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2008, 23(2): 140-143+214.
- [10] 马鸿杰, 苏凡, 沈丛奇, 等. 发电机组一次调频性能在线测试功能的开发与实施 [J]. 华东电力, 2012, 40(8): 1420-1423.  
MA H J, SU F, SHEN C Q, et al. Online testing function development and implementation for generator primary frequency regulation performance [J]. East China Electric Power, 2012, 40(8): 1420-1423.
- [11] 徐春雷, 徐瑞, 仇晨光, 等. 发电机组一次调频在线测试与AGC性能考核系统设计 [J]. 电力工程技术, 2017, 36(3): 1-6.  
XU C L, XU R, CHOU C G, et al. On line test of generator primary frequency regulation and design of AGC performance evaluation system [J]. Power Engineering Technology, 2017, 36(3): 1-6.
- [12] 宋栋. 新电改下我国辅助服务市场机制设计研究 [D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.  
SONG D. Research on the mechanism mesign of China's ancillary services market under the new electric power reform [D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2018.
- [13] 国家能源局南方监管局. 广东调频辅助服务市场交易规则(试行) [S]. 广州: 国家能源局南方监管局, 2018.  
South China Energy Regulatory Office of National Energy Administration. Guangdong FM auxiliary service market trading rules (Trial) [S]. Guangzhou: South China Energy Regulatory Office of National Energy, 2018.
- [14] 刘晓强, 王西田. 考虑主蒸汽压力变化的机组一次调频动态特性 [J]. 热能动力工程, 2008 (2): 140-143+214.  
LIU X Q, WANG X T. Dynamic characteristics of the primary frequency modulation of a turbo-generator under a due consideration of main steam pressure variation [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2008(2): 140-143+214.
- [15] 杨建华. 华中电网一次调频考核系统的研究与开发 [J]. 电力系统自动化, 2008 (9): 96-99.  
YANG J H. Research and development of assessment system of primary frequency regulation in central China power grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008(9): 96-99.

---

作者简介:



李强

李强 (通信作者)

1982-, 男, 广东梅州人, 工程师, 广东工业大学计算机专业, 主要从事发电厂热工自动化检修工作 (e-mail) lqxn2000@qq.com。

(责任编辑 李辉)