

饱和蒸汽减温在燃机余热锅炉的应用

张 勇¹, 姚 东¹, 魏少杰¹, 翟作武²

(1. 哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036;

2. 哈尔滨第三发电有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要:介绍了燃气—蒸汽联合循环电站余热锅炉过热蒸汽调温的一种方法—自身饱和蒸汽减温。对余热锅炉自身饱和蒸汽减温系统的设计进行了分析,指出了实际应用中应该注意的问题。

关 键 词:燃气—蒸汽联合循环; 余热锅炉; 饱和蒸汽减温

中图分类号: TK229. 92⁺9

文献标识码: B

1 前 言

燃气—蒸汽联合循环能够实现能量的梯级利用,具有良好的节能效益。余热锅炉是其中不可缺少的能量转换设备,是整个联合循环系统中一个重要的组成部分。余热锅炉的性能极大地影响到系统中其它设备乃至整个系统的性能。其中余热锅炉出口过热蒸汽参数的稳定对汽轮机的正常工作起着至关重要的作用。

2 余热锅炉过热蒸汽温度

燃气轮机启频繁,负荷变化大,又常运行在温度变化范围很大(—15~45℃)的大气环境中,燃机的排气温度和流量都发生很大变化,导致余热锅炉出口过热蒸汽温度变化特别显著。余热锅炉出口过热蒸汽温度的变工况特性(饱和压力恒定)随燃气轮机排气流量的减少和排气温度的升高而上升。另外,现阶段我国余热锅炉的设计计算标准,大都采用前苏联《锅炉机组热力计算标准方法》(1973年版)的计算方法,按此标准算出的过热器出口过热蒸汽温度往往比实际工程运行值偏低。由于受热面设计裕度的原因,实际过热蒸汽温度更加偏高。为了保证在各种工况条件下汽轮机的安全稳定运行,均需采用过热蒸汽减温措施。饱和蒸汽减温则是一种可靠且行之有效的过热蒸汽控温方法。尤其是燃气轮机

余热锅炉入口烟温相对其它一般锅炉过热器前烟温低很多,大多数燃机排气温度都低于 600℃,不致使余热锅炉过热器管束管壁温度超过管材许用温度。某一工况燃机排气能量的恒定,使饱和蒸汽减温热力收敛性大大增加。

3 饱和蒸汽减温的设计

饱和蒸汽从锅筒进入过热器管束前,分道经过带有蒸汽调节阀的支路,最后两路蒸汽流再在过热蒸汽出口集箱充分混合(见图 1)。通过调整调节阀的开度,改变通过支路的饱和蒸汽量,控制出口过热蒸汽温度在运行温度设定范围内。也就是说改变通过减温支路的蒸汽量与余热锅炉总产汽量的比值 α 来调节锅炉出口蒸汽温度 $\alpha = D_j / D_e$ 。

其中: D_j ——某一工况流经减温支路的蒸汽量;

D_e ——某一工况余热锅炉的总产汽量

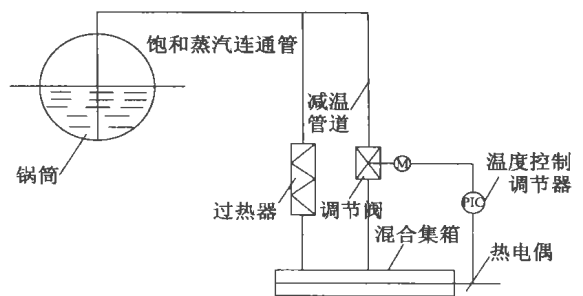
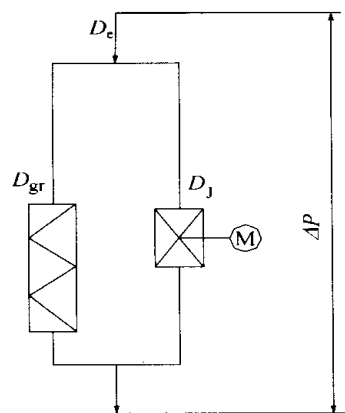


图 1 饱和蒸汽减温系统原理图

由于燃机排气温度的相对限定,可以得出随着 α 的增大,余热锅炉出口过热蒸汽温度下降。当余热锅炉运行在某一工况,此时出口过热蒸汽参数 P_e 、 t_e 、 D_e 相对稳定,两回路混合前后焓平衡,即

$$D_j I_{bh} + D_{gr} I_{gr} = D_e I_e$$

I_e ——某一工况在 P_e, t_e 下的锅炉出口过热蒸汽焓值;
 I_{gr}^t ——在 P_e, t_e 工况下流出过热器的过热蒸汽焓值;
 I_{hh} ——在 P_e, t_e 工况下锅筒的饱和蒸汽焓值;
 D_{gr} ——在 P_e, t_e 工况下经过过热器的蒸汽量。



见图 2, 由流体力学并联管路流量连续及压降公式得:

$$D_J + D_{gr} = D_e$$

$$\Delta P_J = \Delta P_{gr}$$

ΔP_J ——流经减温管路的蒸汽压力降;

ΔP_{gr} ——流经过热器的蒸汽压力降。

$\Delta P_J, \Delta P_{gr}$ 不仅与

减温管路和过热器管路的结构特性紧密相关, 而且与各自管路中的蒸汽流量的平方成正比。由于进行该计算之前, 过热器等部件受热面布置结构已定, 当 α 增大时, ΔP 有降低的趋势。实际上, 减温

图 2 分支通路计算简图

余热锅炉热力、结构参数输入

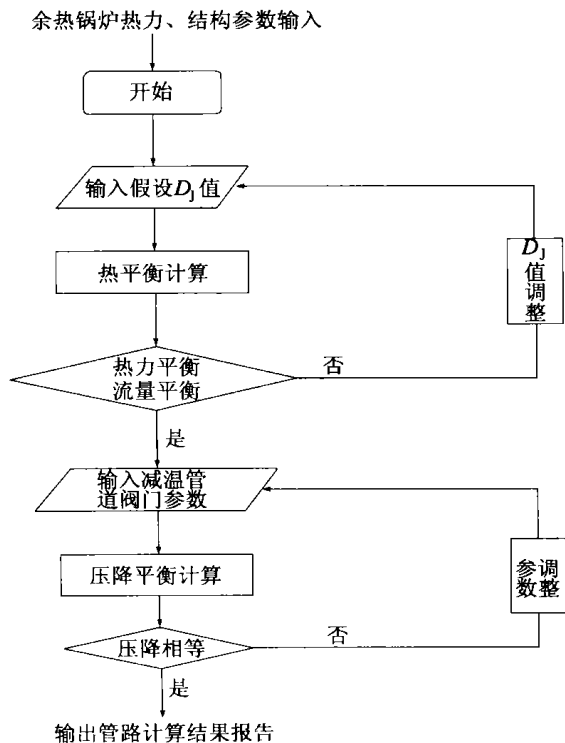


图 3 减温管路计算一般算法流程

节阀开大或关小时, 锅筒压力、饱和蒸汽温度、蒸汽产量等参数都有变化。但是, 这些改变的数值很小, 并且对余热锅炉出口处混合蒸汽温度转换过程的影响极其微小, 在工程应用中可以忽略不计。

基于上述公式, 便可以进行减温元件的设计计算。在饱和蒸汽减温的工程设计中, 采用多次迭代计算算法, 流程见图 3。

计算方法针对燃机启停及各种环境温度下的不同工况的燃机排气特性参数, 计算蒸汽流量及饱和蒸汽减温部件结构阻力系数, 供设计人员选择合适的结构及调节阀型号, 既保证不同工况下主汽温度符合设定的范围, 又能使投资趋于合理。该计算方法在多项工程中对饱和蒸汽减温系统进行过设计计算, 得到工程实践的检验, 具有优良的准确性、收敛性和稳定性。

4 几个应注意的问题

- 4.1 过热器受热面管材采用相应性能良好的铬合金钢材料, 以抵抗过热器管束的“干烧”, 且过热器管束“干烧”温度宜低于管材使用温度 50 °C。
- 4.2 余热锅炉结构设计中应充分考虑过热器集箱、管子与连接管道、构架护板的相对膨胀要求。
- 4.3 严格控制饱和蒸汽湿度, 且两路蒸汽经过充分混合后, 再流向汽轮机。
- 4.4 饱和蒸汽的含盐量亦应严格控制。

5 工程应用实例

在深圳南山燃机电厂、苏州高达燃机电厂等几种型号燃机余热锅炉中, 余热锅炉出口过热蒸汽均采用了饱和蒸汽减温, 效果良好。以苏州高达燃机电厂为例, 燃机及余热锅炉参数见表 1。

表 1

	数值
环境温度变化范围/ °C	-10 ~ 40
燃机型号	PG6541
燃机 ISO 条件排气温度/ °C	542
燃机最高排气温度/ °C	574
余热锅炉额定蒸汽压力 P/MPa	3.82
余热锅炉额定蒸汽产量 (ISO 条件) D/t·h ⁻¹	66
余热锅炉额定蒸汽温度 (ISO 条件) t/ °C	450 ± 5
余热锅炉给水品质	一级除盐水

管路与过热器管路具有显著的相互关系, 在移动调

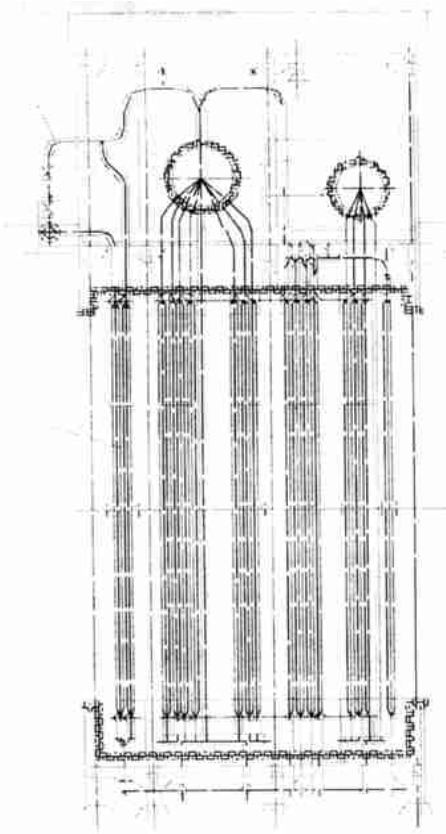


图 4

余热锅炉示意图见图 4。减温管由锅筒至过热器的饱和蒸汽连通管引出, 直径 DN100。过热器受热面管束管子直径 $\Phi 32 \times 3$, 6 排, 共计 273 根, 与烟气两回程叉流流动; 出口混合集箱规格 $\Phi 219$, 过热器集箱与管子材料均为 12Cr1MoV。

采用电动调节阀, 信号接入 DCS。该厂运行人员曾在冬季和夏季做过两次饱和蒸汽减温系统测试, 过热蒸汽温度完全控制在电厂运行人员设定的运行值范围内。一般情况下, 启动过程中控制参数主要根据汽轮机缸壁温度进行设定。汽轮机并网前, 为防止汽轮机上下缸温度不均, 可划分为冷态、温态、热态。汽轮

机并网后, 过热蒸汽温度的设定值按不同状态以不同升速率逼近额定值。汽轮机稳定运行后, 过热蒸汽温度的设定值稳定在额定值。控制时间取决于两路蒸汽流的混合过程, 数值为 3~8 s。该系统操作简便, 控制参数清晰, 减轻了电厂运行人员的运行操作工作强度, 大大降低了运行人员对运行经验的依赖性。余热锅炉从 1998 年 12 月交付电厂运行至今, 饱和蒸汽减温系统未出现任何故障, 得到用户的高度评价。

6 饱和蒸汽减温的技术性能评析

(1) 占地少, 系统简单。便于布置, 一次投资小, 可靠性强, 故障率极低。

(2) 滞后性小, 调节灵敏, 运行可靠。

(3) 对电厂给水水质要求低, 适应性广。

(4) 负荷调节范围大, 适应燃机余热锅炉快速启动、增减负荷的动态要求。缩短整个联合循环系统的启动时间。

(5) 蒸汽阻力小, 锅筒压力低, 蒸发器传热温压高, 蒸汽产量大。

(6) 过热蒸汽品质比采用喷水减温优良, 有利于改善汽轮机叶片腐蚀状况, 提高汽轮机寿命。

综上所述, 燃机余热锅炉饱和蒸汽减温是一种可靠地保证燃机余热锅炉热力稳定性及保证汽轮机安全稳定运行的方法, 是提高整个联合循环系统装置可用性的重要保证措施。

(何静芳 编辑)

(上接第 602 页)

出, “W”火焰锅炉能够燃用挥发份较低的煤种、具有燃烧效率高、煤质波动适应范围宽、燃烧稳定性强等特点。合理的改变燃烧配风比例, 通过优化燃烧可以降低飞灰及炉渣可燃物含量, 提高燃烧效率, 是燃烧调整的主要手段之一。但“W”火焰与四角燃烧方式相比, 其对风量分配的均衡性要求更高, 对氧量变化的敏感性更强, 炉内的平行流场不利于风煤的充分混合, 难以实现低氧量运行。

由于下炉膛燃烧室温度水平高, 燃烧火焰集中, 运行氧量偏大等是导致 NO_x 及 SO_2 排放水平高于常规煤粉燃烧方式的主要原因。下炉膛卫燃带结焦与炉膛结构设计、卫燃带布置方式、燃烧器结构特性

及混煤比例等因素相关, 借助燃烧调整难以彻底消除结焦问题。测算表明: 仅靠低氧量燃烧, NO_x 排放值降低幅度有限。要解决“W”火焰锅炉的结焦、燃料燃尽、降低 NO_x 排放等的矛盾问题, 应采取综合治理措施。

参考文献:

- [1] 袁 颖, 相大光. 我国 W 火焰双拱锅炉燃烧性能调查研究[J]. 中国电力, 1999, 11: 12-15.
- [2] 阎维平, 高正阳. 300 MW 机组 W 型火焰锅炉燃烧调整试验研究[J]. 动力工程, 1999, 19(1): 21-23.

(辉 编辑)

bines system identification with a numerical simulation, the results of fitting were simplified, thereby obtaining a simplified model, which complies with experimental results. **Key words:** Lawrence algorithm, system identification, transfer function fitting

基于 OPC 规范的火电厂监控信息系统研究 = A Study of the Supervisory information System for a Thermal Power Plant Based on an OPC (Object-linking-and-embedding for Process Control) Specification [刊, 汉] / QUAN Xin-jian, LIN Zhong-da (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 625 ~ 628

The study mainly focuses on a plant-level supervisory information system for a thermal power plant by adopting the design conception of a modularized program based on COM/DCOM technology. A standard OPC (object-linking-and-embedding for process control) interface (OPC client program and OPC server program) in compliance with OPC specification has been adopted to serve as the communication interface of the supervisory information system. This gives full play to the identity and opening characteristics of the OPC interface, thereby providing a new realistic approach for organizing an open and flexible plant-level supervisory information system for thermal power plants. **Key words:** thermal power plant, supervisory information system, design

饱和蒸汽减温在燃机余热锅炉的应用 = The Application of Saturated Steam Attemperation in Gas-turbine Heat Recovery Boilers [刊, 汉] / ZHANG Yong, YAO Dong, WEI Shao-jie (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), ZHAI Zuo-wu (Harbin No. 3 Power Generation Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 629 ~ 631

Described is a method of superheated steam regulation for the heat recovery boiler of a gas-steam combined cycle power plant, the so-called boiler-drum saturated steam attemperation. The design of such a saturated-steam attempering system is analyzed with some problems worthy of close attention in practical use being pinpointed. **Key words:** gas-steam combined cycle power plant, heat recovery boiler, saturated steam attemperation

百叶窗式水平浓淡煤粉燃烧器在燃贫煤 300MW 机组的应用 = The Use of a Horizontal and Louver-type Concentrated-diluted Pulverized Coal Burner in a 300 MW Lean Coal-fired Power Plant [刊, 汉] / WANG Ji-hong (Boiler Repair Shop at Anyang Power Plant, Anyang, Henan Province, China, Post Code: 455004) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 632 ~ 634

The steady combustion and low NO_x emission mechanism of a horizontal and Louver-type concentrated-diluted pulverized coal burner was analyzed from the perspective of its construction features. After a modification of the burners installed on boilers No. 9 and 10 of Anyang Power Plant test results indicate that an optimum performance has been attained in respect of both NO_x emissions and combustion stability. This has a certain reference value for similar type of boiler units. **Key words:** 300MW power plant, horizontal and Louver-type concentrated-diluted pulverized coal burner, modification, test, combustion stability

高水分燃料的沸腾层烟气热平衡方程 = A Thermal Energy Balance Equation Obtained for the Flue Gases of a Fluidized Bed When High-moisture Fuels Were Fired [刊, 汉] / HUANG Yi-min, YU Hong-bin (Power Engineering Department, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(6). — 635 ~ 637

A thermal energy balance equation has been obtained for the flue gases of a fluidized bed operating on high-moisture fuels. With bark, lignite and bituminous coal of grade 1 serving as fuels analyzed was the effect of heat absorption during the water evaporation of unburned fuel in the fluidized bed on two factors. The latter are the quantity of heat absorbed by a submerged tube and the temperature of the fluidized bed. The results of calculation and analysis indicate that when