

大型机组再热汽温调节手段研究

张文景, 黄郁明, 张书谨

(浙江省电力试验研究所, 浙江 杭州 310014)

摘要: 分析再热汽温调节手段方面的问题, 讨论了影响再热汽温的因素, 对当前应用最多的两种调温手段: 烟气挡板和摆动燃烧器存在的问题进行了研究, 并根据台州电厂 8 号炉和北仑 3 号炉的试验结果给出了两种不同型式的烟气调温挡板开度与过、再热器侧烟速比的关系。

关键词: 再热器; 汽温; 调节手段

中图分类号: TM621.2 文献标识码: B

符号说明

W_s —安全烟速/ $m \cdot s^{-1}$	δ_{\max} —最大磨损量/mm
r —受热面材料密度/ $mg \cdot cm^{-3}$	μ —飞灰浓度/ $g \cdot cm^{-3}$
τ —受热面使用时间/s	F —含灰气流出喷口的截面积/ cm^2
k_ω —速度场不均匀修正系数	k_μ —灰浓度场不均匀修正系数
a —灰粒磨损性能系数	k_1 —材料抗磨损性能系数, 碳钢 $k_1 = 1$
d_s —飞灰粒子的平均直径/ μm	ω_s —飞灰粒子的冲刷速度/ $m \cdot s^{-1}$
m —粒度指数	n —绝对速度指数, $n = n' + 1$
n' —速度指数	f —受热面受冲刷面积/ cm^2

1 概述

浙江省内现役主力机组分成 125 MW, 300 MW, 600 MW 三个档次, 其中 125 MW 与 300 MW 机组均为国产机组, 600 MW 机组为进口机组, 全部采用中间再热循环。以前由于电力市场尚未饱和, 机组大都带满负荷运行, 而且发电厂更为关心运行的安全性, 再热汽温的问题没有充分暴露出来。随着电力市场的买方化, 许多大机组承担起调峰任务, 电力发电厂家越来越关心机组运行的经济性, 再热汽温对锅炉经济性的影响也应当受到足够的重视。过高的再热汽温将导致不得不喷入更多的喷水量, 增加再热蒸汽流量, 使汽轮机的中、低压部分功率比例增大, 降低机组的热循环效率。有资料表明, 在再热蒸汽中喷入相当于锅炉蒸发量的 1% 的喷水量, 整个机组的循环效率将降低 0.1% ~ 0.25%; 而如果再热汽温偏低时, 不仅会降低机组的热循环效率, 而且过低的再热汽温会造成汽轮机末几级湿度增加, 影响机组的运行安全。根据我们的调查, 现在浙江省内

大型机组主要存在以下一些问题。

(1) 对 125 MW 机组而言, 在较低负荷下存在再热汽温的欠温问题, 锅炉运行不得不在大氧量工况下运行, 从而影响炉效, 降低了机组的经济性。

(2) 对于 300 MW 乃至容量更大的机组而言, 由于受热面布置的区别, 再热汽温的变化特性不尽相同, 不仅存在某些工况点再热汽温不足的问题, 也存在再热汽温太高, 不得不采用事故喷水进行调节, 造成机组经济性的降低。

(3) 由于流场及温度场分布不均, 造成再热器的局部超温。

(4) 由于调温设备存在缺陷, 难以放心地投入运行及自动调节, 比如摆动燃烧器, 由于热态难以准确的进行摆动, 没有良好的重现性, 难以预知燃烧器摆动对锅炉运行的影响, 电厂一般不摆或摆动较少。而另一方面则较多的采用喷水进行调节。

2 现在调节再热汽温的手段

影响锅炉再热汽温的因素主要有以下几个因素: 煤种、锅炉负荷、制粉系统投用方式、燃烧器投用方式、汽机运行方式、受热面表面状况和漏风等, 通过对这些因素调节, 就可以达到调节再热汽温的目的。

在现阶段, 比较成熟的再热器调温手段主要有以下几种: (1) 汽—汽热交换器; (2) 再热蒸汽旁通法; (3) 烟气再循环; (4) 尾部分割烟道烟气挡板; (5) 摆动式燃烧器。这几种调温方法各有优缺点, 作者难以对其评价孰优孰劣, 但由于烟气挡板以及摆动式燃烧器设备简单安全, 控制灵活, 无额外的辅助动力要求, 能够实现双向调温等优点, 一般电厂大都采用这两种方法进行再热汽温的调节。

2.1 尾部分割烟道烟气挡板

关于烟气挡板, 一直存在着以下几个困扰着使

用厂家的问题:

- (1) 烟气与流量的非线性关系;
- (2) 因为受热面磨损量同烟速的四次方成正比, 因此烟速增加有一定的限度;
- (3) 尽管烟温挡板对汽温的调节范围较大, 一般能达到近 40 °C, 但是烟温挡板对再热汽温的调节有相当的滞后性, 一般要 10 min 左右才能达到目标值, 对实现再热汽温的自动控制造成一定的困难。

其中, 对于第一个问题, 我们可以通过定期对挡板流量开度特性曲线进行测量标定予以解决; 另外, 烟气挡板要经常使用, 保持挡板的机械结构灵活可用, 其流量开度特性曲线可以保证在较长的时间内维持稳定。

近几年, 国内对尾部受热面磨损做了大量的工作, 对于如何确定尾部对流受热面的安全烟速进行了研究, 一般国内大型机组该区烟气流速都限制在 7.5 ~ 12 m/s 左右, 并提出了相关的计算公式:

$$W_s = \sqrt[n]{\dot{Q}_{\max} [(F/r \cdot f) \cdot a \cdot k_1 \cdot d_s^m \cdot k_w^n \cdot k_{\mu} \cdot \mu \cdot \tau]}$$

2.2 摆动燃烧器

摆动燃烧器在 20 世纪 80 年代后期随着引进美国 CE 公司燃烧技术后逐渐被各大锅炉厂采用, 大都应用在采用四角切圆燃烧方式的锅炉上, 尤其是 300 MW 和 600 MW 容量的大型锅炉上, 摆动燃烧器具有方便而经济地调节过热汽温和再热汽温的优点, 能够实现双向调节汽温, 且调节范围广, 可以达到将近 50 °C 的能力。根据试验和热力计算, 燃烧器每摆动 1°, 再热汽温可改变 2 °C ~ 3 °C。另外, 同烟温挡板相比较, 它还具有再热汽温动态响应快的优点。

对于使用中的摆动燃烧器, 首先要解决燃烧器在冷、热态下都能摆动的问题, 按照 CE 公司所说明的, 燃烧器可以实现上下摆动 30°, 而且在不同角度下炉膛吸热模式大致呈对称性变化, 对燃煤锅炉而言, 摆动燃烧器还能在不同负荷下自动补偿由于炉膛积灰造成的吸热量变化。但是, 目前采用摆动燃烧器的锅炉都没有实现设计目标, 一般都将再热器事故喷水作为主要的调温手段, 从而降低了整机的循环效率。究其原因, 主要是由于摆动燃烧器在热态时受热变形以及外力作用产生变形造成机件卡死。针对这些问题, 有关方面从以下几个方面进行了改进, 取得了一定的效果, 但还没有完全解决这一问题。

管子, 以吸收由于热态时煤粉管膨胀发生的位移, 另外正确地布置管道走向和支吊, 以使煤粉管道作用在燃烧器上的附加外力减到最小。

(2) 将喷嘴设计成前后两段, 这样在靠近炉膛一段被烧坏后可以方便的更换, 避免由于喷嘴被烧坏发生变形导致摆动燃烧器难以进行摆动, 同时减小了检修的工作量。

(3) 电厂将对摆动燃烧器的摆动作为交接班制度中的一项, 经常使其摆动, 避免由于长期不使用造成传动机构锈蚀失效。

另一个促使电厂不经常使用摆动燃烧器的摆动功能的原因是由于燃烧器摆动会引起炉内空气动力场、炉膛出口扭转残余、炉内结渣状况发生变化, 特别是燃烧器大幅度下摆时, 会造成冷灰斗的严重结渣。有研究证明, 燃烧器下摆会造成炉膛内实际切圆直径增大, 较通常的解释是, 冷灰斗内是一个很大的弱气流区, 燃烧器下摆后的煤粉气流进入这一区域, 由于缺少气流的约束, 所以在离心力的作用下, 切圆增加很快。而燃烧器上摆则由于炉内旋转气流的约束, 切圆增加较少。同时燃烧器上摆还可以减轻炉膛出口的烟气扭转残余, 使炉膛出口的烟气流速分布更为均匀。因此, 应当尽量减少燃烧器大幅度下摆运行的时间; 同时通过调整下方周界风, 增强炉膛下部的气流扰动, 以减少燃料颗粒在冷灰斗的沉积。

3 不同调温挡板特性比较

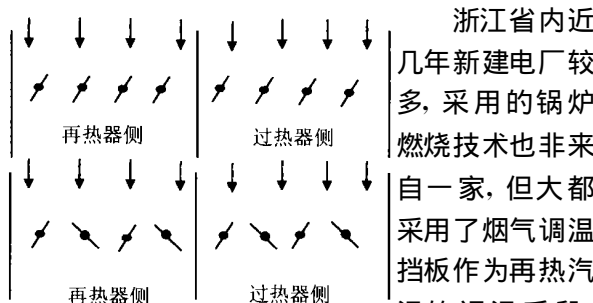


图 1 台州电厂(上)与北仑电厂(下)调温挡板型式

浙江省内近几年新建电厂较多, 采用的锅炉燃烧技术也非来自一家, 但大都采用了烟气调温挡板作为再热汽温的调温手段, 其中台州电厂 7 号、8 号炉采用的是北京巴威公司的技术, 而正在兴建的北仑电厂 3 号、4 号、5 号炉

设备由日本进口, 燃烧技术则由 BABCOCK 提供。两者都使用前后墙对冲的旋流燃烧器。我们对这两种结构不同的调温挡板进行了挡板开度同流量关系的特性试验。

- (1) 在煤粉管同燃烧器的连接部分加装挠性连

台州电厂 7 号、8 号自投入运行后, 发现在满负荷工况下, 再热汽温一直偏低, 为了解决这一问题, 电厂通过调整尾部的烟温挡板, 将再热器侧的挡板位置置于全开位置, 过热器侧挡板位置置于 30%~40% 开度位置, 同时调整磨煤机运行方式, 投用上炉燃烧器, 抬高火焰中心, 基本能保证相应的汽温。但是了解相应工况下的尾部烟道空气动力特性是非常必要的, 我们通过对 8 号炉的试验, 测量了在不同的挡板开度下过热器侧与再热器侧流速的变化。考虑到再热汽温低的因素, 试验时, 再热器侧的烟温挡板保持全开, 而过热器侧的烟温挡板开度变化为 60%、50%、40%、30%, 对两侧的流速进行测量, 求得两侧的平均流速。从而得到两侧流速的流速比, 分别为 0.896、0.992、1.1、1.527。结合 7 号炉已经得到的结果, 我们可以得出下面一条曲线, 也就是烟温挡板的特性曲线, 见图 2。

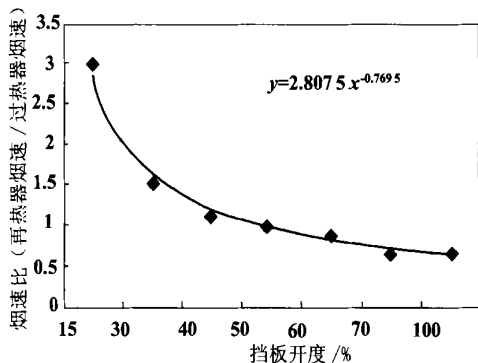


图 2 台州电厂烟气挡板开度与尾部两侧烟气流速比的关系

同时, 我们也可以计算出当过热器侧的烟温挡板开度逐渐关小时, 再热器侧烟速的增加情况, 30%、40%、50% 开度时, 再热器侧的流速同 60% 开度时的流通比值分别为: 1.33、1.15、1.08。另外冷态试验表明, 在 330 MW 负荷时, 只有过热器烟温挡板开度为 40%, 再热器烟温挡板全开的情况下, 再热器与过热器的流速比才与设计工况相近, 而当过热器侧的烟温挡板关至 30% 时, 再热器侧的流速同过热器侧烟温挡板为 40% 时的流速相比, 才增加了 1.15 倍, 应该不会造成相当的磨损。

北仑电厂新建的三台 600 MW 机组同样是采用烟气挡板作为调节再热汽温的主要手段, 但是挡板的结构同台州电厂 7 号、8 号机组所采用的不尽相同, 我们对 3 号炉进行了试验, 按照正常运行的方式, 即再热器侧同过热器侧的挡板开度之和为

100%, 得到如图 3 的试验结果。

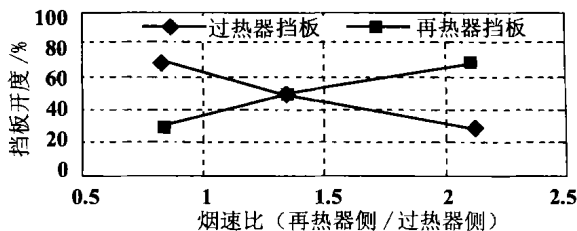


图 3 北仑电厂烟气挡板与两侧烟气流速比的关系

我们同时对再热器侧挡板开度为 100%, 过热器侧挡板开度为 30% 的工况进行了试验, 该工况下两侧烟气流速比为 2.11, 同再热器侧开度为 70%, 过热器侧为 30% 工况数据基本相等, 说明单侧烟气挡板开度超过 70% 时, 已经难以起到调节两侧烟气量的作用。这同我们在台州电厂得到的结果一致, 相对来说, 北仑电厂烟气挡板的调节范围要大一些, 同样是在再热器侧烟气挡板全开, 过热器侧挡板开度为 30% 的情况下, 台州 8 号炉测出的烟气流速比为 1.53, 而北仑 3 号炉的结果为 2.11。但是该工况下, 再热器侧的烟气流速相对增加了 1.42 倍, 烟速增加较多, 有可能造成较为严重的飞花磨损。

4 结论

(1) 合理、有效的使用再热汽温的调节手段是今后节能优化的重点之一, 可以为电厂创造可观的经济效益。

(2) 尽管现有的再热器调温手段在应用中还存在一些问题, 但是根据我们在现场的经验, 通过锅炉厂家、电厂及其他相关部门的配合, 还是可以解决的, 如摆动燃烧器热态的正常摆动, 坚持每班进行摆动, 同时避免大角度的下摆, 基本上可以实现再热汽温的调节。

(3) 台州电厂 7 号、8 号炉同北仑电厂 3 号、4 号、5 号炉采用了两种结构不同的烟气挡板, 试验结果表明, 北仑电厂采用的烟气挡板调节范围要大于前者; 另外这两种结构的挡板都表明在单侧烟气挡板开度超过 70% 时, 继续调整该侧挡板对烟气量的影响很小。

参考文献:

- [1] 袁益超. 大容量电站锅炉过热器及再热器系统研究的现状与发展[J]. 动力工程, 1993 13(6): 42-46

300 MW 机组滑压运行若干问题的研究

徐宝山¹, 辛志明¹, 李国军², 程革新²

(1. 哈尔滨锅炉厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150046; 2. 铁岭电厂, 辽宁 铁岭 112000)

摘要: 简要介绍了 300 MW 机组定、滑压运行方式的经济性比较, 分析了滑压运行对锅炉内部过程的影响, 并就锅炉滑压运行的限制因素进行了讨论。

关键词: 滑压运行; 经济性分析; 限制因素

中图分类号: TM621.2 文献标识码: B

1 引言

当前, 电网负荷的峰谷差日益增大, 要求大容量火电机组也参与调峰运行。国内现有的 300 MW 亚临界机组都是按基本负荷设计的, 不能适应频繁的启停, 因此通常采用低负荷调峰方式。

众所周知, 滑压运行方式在低负荷下具有较好的经济性, 并使汽轮机各部件承受较低的热应力, 因此调峰运行就有必要改变传统的定压运行方式, 寻求滑压运行的优化方式。但滑压运行时, 由于主汽压力较大的变化, 对锅炉内部过程产生了复杂的影响。一些电厂在探索滑压运行规律时也证实, 滑压调峰运行的能力主要受到锅炉运行安全性的限制。

2 定滑压运行方式的经济性比较

铁岭电厂于 1998 年 4 月, 在 300 MW 亚临界自然循环锅炉机组上进行了定滑压运行方式的优化试验, 对四种汽轮机负荷调节方式进行了比较^[1], 即:

单阀定压运行—在变负荷时六个调节阀同步开启或关小;

顺序阀定压运行—各调节阀在负荷变化时依次开启或关小;

复合变压运行—顺序阀定压运行和四阀开启的滑压运行相结合;

三阀滑压运行—在低负荷下采用三阀开启的滑压运行方式。

经济性比较试验按 GB8117—87 标准进行。根据实测数据计算出各种运行方式下汽轮机的经济性指标。

2.1 高压缸效率

图 1 为各种运行方式下汽轮机高压缸效率与负荷的关系曲线。

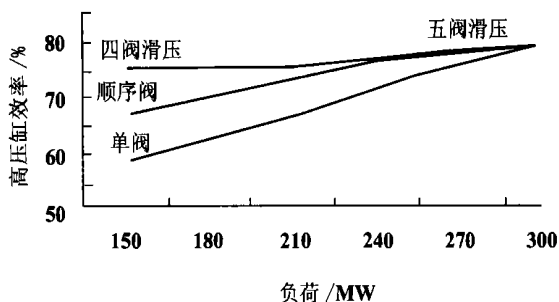


图 1 高压缸效率与负荷的关系曲线

单阀定压运行时, 在额定负荷以下主蒸汽要受到不同程度的节流损失, 而顺序阀调节在负荷变化

收稿日期: 2001-03-12; 修订日期: 2001-04-24

作者简介: 徐宝山(1964—), 男, 辽宁朝阳人, 哈尔滨锅炉厂有限责任公司副总工程师, 锅炉研究所所长。

[2] 徐春荣. 引进机组再热器布置方式的技术经济比较[J]. 电站系统工程, 1997, 13(5): 18—19.

[3] 张圣伟. 燃烧器摆动结构的设计和改造[J]. 锅炉技术, 1997, 28(7): 17—21.

[4] 李道林. 国产电站锅炉再热汽温调节实用技术探讨[J]. 动力工程, 1999, 19(1): 17—22.

[5] 刘林华. 电站锅炉汽温问题的现状及应采取的对策[J]. 热能动

力工程, 1996, 11(5): 297—300.

[6] 浙江大学热能工程研究所. 摆动式燃烧器锅炉试验研究[J]. 电站系统工程, 1995, 11(3): 38—42.

[7] 吕薇. 电站燃煤锅炉对流受热面的安全烟速计算方法[J]. 节能技术, 1995(6): 10—12.

(何静芳 编辑)

It is noted that pH value and dew point temperature control and the relevant component design of the desulfurization unit are the key factors ensuring the stable and high-efficiency operation of the integrated device. In connection with relevant engineering practice some technical measures are proposed to ameliorate and solve existing issues related to the wet desulfurization method. **Key words:** wet method, desulfurization, dust removal

用于电站热交换管检测的四频涡流检测仪 = **Four-frequency Eddy-current Detecting Device for the Detection Testing of Power Plant Heat Exchange Tubes** [刊, 汉] / LIN Jie-dong (Guangdong Electric Power Testing Research Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510600) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17 (2). — 189 ~ 190, 194

The working principles and technical features of a four-frequency eddy-current detecting device are described in detail. Some specific requirements concerning the manufacture of detection coils are also presented. **Key words:** power station, heat exchange tube, eddy current, detection

高压变频技术在火电厂吸风机中的应用与研究 = **Application and Research of High-voltage Frequency Conversion Technology in Thermal Power Plant Induced-draft Fans** [刊, 汉] / ZHANG Zhen-yang (Shengli Power Plant, Dongying, Shandong Province, China, Post Code: 257087), LIU Jun-xiang (Beijing Zhongneng Great Wall Automation Equipment Co. Ltd., Beijing, China, Post Code: 100071), LIN Zun-ji (North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 191 ~ 194

Based on the analysis of the present operating condition of a thermal power plant induced draft fan and the study of high-voltage frequency conversion technology the authors present a specific example of using a Robicon Perfect Harmony frequency converter for the modification of a thermal power plant induced draft fan. Also described is the control of the power plant main auxiliaries based on the use of high-voltage frequency conversion technology. The usage example cited above has proved that such frequency conversion technology has excellent prospects of applications in the pursuit of energy savings and higher automation control level. **Key words:** high-voltage frequency conversion technology, auxiliary equipment, energy savings, decrease of power consumption

大型机组再热汽温调节手段研究 = **A Study of the Reheat Steam Temperature Regulation Methods for Large-sized Boiler Units** [刊, 汉] / ZHANG Wen-jing, ZHANG Shu-jin, HUANG Yu-ming (Zhejiang Provincial Electric Power Test Research Institute, Hangzhou, China, Post Code: 310014) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 195 ~ 197

With the electric power market steadily taking shape power plant owners are paying increased attention to the cost-effectiveness of boiler plant operation. In this regard the guarantee of a required reheat steam temperature represents one of the major links in achieving the above-cited aim. Meanwhile, there emerged a variety of problems regarding the methods used for reheat steam temperature regulation. Factors having an influence on the reheat steam temperature regulation are discussed, and the issues relating to the two most widely used methods for temperature regulation addressed. They are the regulation by flue-gas dampers and swinging burners. Based on the test results obtained on boiler No. 8 of Taizhou Power Plant and boiler No. 3 of Beilun Plant the authors give the relationship between the opening degree of two different types of flue-gas damper and the superheater and reheater-side flue-gas speed ratio. **Key words:** reheater, steam temperature, regulation method

300 MW 机组滑压运行若干问题的研究 = **A Study of Some Issues Regarding the Sliding-pressure Operation of a**