

高温过热器壁温测试及计算

余艳芝¹, 唐必光¹, 李树雷²

(1. 武汉大学 动力机械学院, 湖北 武汉 430072; 2. 平圩发电有限责任公司, 安徽 淮南 232089)

摘 要: 过热器超温爆管是造成火电机组非计划停机的重要原因之一。为全面掌握过热器壁温状况, 在 410 t/h 超高压锅炉上实时采集了炉内壁温及炉外壁温的变化情况。在考虑炉膛出口三维烟温、烟速分布的情况下, 建立了过热器炉内壁温分布的计算模型, 编写了基于 MATLAB 语言的三维可视化计算程序。可通过此程序计算得到对流过热器各个管排各部位管壁温度分布, 并以图形的方式显示烟温、烟速、及过热器管壁温度的立体分布, 将理论计算结果与试验进行了比较, 符合较好。

关 键 词: 过热器; 管壁温度; 锅炉; 计算

中图分类号: TK223.3⁺2 文献标识码: A

1 前 言

电站锅炉实行状态检修是必然的发展趋势, 锅炉管壁温度状况是炉管失效判断的重要依据。过热器的失效爆管主要由短期超温、高温蠕变引起, 均与过热器的管壁温度有关。在锅炉设计中, 对过热器区域烟温及壁温的考虑均以平均值及最大值为依据, 对局部烟温偏差及局部壁温的考虑较少。对于四角布置切圆燃烧, 随着锅炉的大型化, 炉膛出口及水平烟道内残余旋转加剧, 使过热器区域的烟气流速及烟气温度的分布变得复杂化, 传统的中间高两侧低的吸热偏差模型与实际状况相差太远, 热力偏差的计算模型必须考虑残余旋转引起的炉膛出口处及水平烟道内沿锅炉宽度、高度及深度方向的三维烟速及烟温偏差。为了解锅炉启动及运行中过热器壁温的变化情况, 在 410 t/h 超高压锅炉上增设了 22 个炉内外壁温测点, 实时采集了机组启动过程中及满负荷运行时炉内壁温及炉外壁温的变化, 旨在掌握炉内壁温分布的真实状况, 建立同一根炉管在各个工况下炉内壁温与外部工质出口温度的对应关系, 为利用炉外壁温长期监测炉内壁温对过热器管作出失效预测奠定基础。

过热器的故障诊断要求对整个过热器区域的局

部壁温状况确切掌握, 以便对过热器发生故障的具体方位作出明确指示。本文利用已有的冷炉试验烟速分布结果及烟温、烟速的关系建立热力偏差模型, 利用计算机对整个过热器实行烟气区域离散, 根据局部管长坐标、管内工质温度、局部烟速及局部烟温, 计算出局部管壁温度, 为过热器故障诊断提供依据。

2 高温过热器炉内外壁温测量试验

2.1 测点的布置及试验工况

壁温测量试验在河南开封火电厂 3 号炉 (410 t/h) 上进行。该炉后屏过热器 14 屏, 高温对流过热器共 104 排, 在 3 号炉的过热器系统中共增设了壁温测点 22 个, 炉内 5 个, 炉外 17 个; 其中, 后屏布置炉外壁温测点 3 个, 分别位于左起第 4、第 7、第 9 片屏的最外圈管出口处, 炉内测点 2 个, 分别位于后屏左起第 4 及第 7 片屏的最外圈管距炉顶 6 m 的背火面上; 对流过热器上布置炉外壁温测点 14 个, 分别位于对流过热器左起第 10、20、27、35、40、45、52、54、62、68、72、80、87、94 排最外圈管的工质出口处, 炉内壁温测点 3 个, 装在左起第 27、52、80 排最外圈管距炉顶 4 m 的迎风面上。

大修后, 随着机组的启动和调整利用计算机进行间隔 1 min 的数据记录, 直至达到满负荷稳定运行工况, 机组连续运行两周后, 炉内壁温的试验测点仍保存完好, 数据合理正常。

2.2 试验结果及分析

壁温测试结果如图 1 ~ 图 4 所示。据试验曲线可得以下结论:

(1) 后屏过热器区域, 左起第 4 片屏的炉内壁温高于第 7 片屏的炉内壁温, 亦即位于烟道中心屏的壁温及热负荷不是整个屏区的最高点, 炉膛上部及炉膛出口处存在一定的烟气残余扭转。

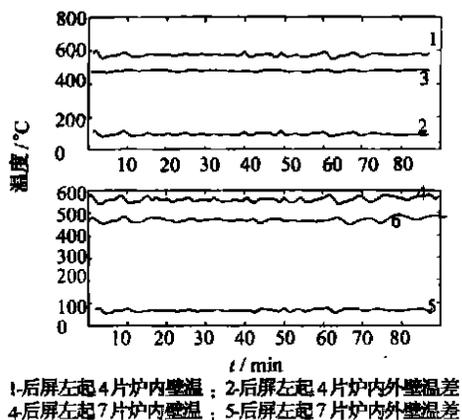


图 1 后屏炉内外壁温对比曲线

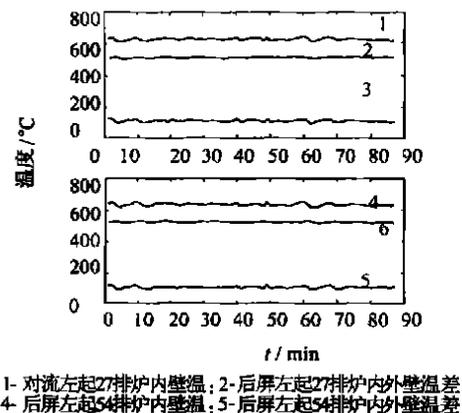


图 2 对流炉内外壁温对比曲线

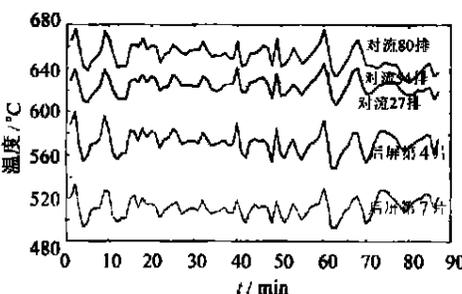


图 3 炉内实测壁温对比曲线

(2) 对流过热器区域, 左起第 80 排炉内管壁温度最高, 高于对流过热器中心及左侧管排的管壁温度。沿对流烟道的宽度方向出口蒸汽温度的分布可看出由于残余旋转对流过热器右侧工质出口温度明显高于左侧, 如图 4 所示。

(3) 对整个过热器区域而言, 对流过热器区域炉内管壁温度最高, 在满负荷下所测得的炉内管壁

温度在 600~670 °C 范围内, 屏式过热器管壁温度比对流过热器管壁温度低, 在满负荷下所测得的炉内管壁温在 500~600 °C 范围内变化, 如图 3 所示。在启动调整过程中的某些工况下, 后屏温度超过了满负荷时后屏所达到的炉内最高壁温, 可能由于工质流量太小造成。

(4) 从试验测得的结果可看出, 在满负荷运行

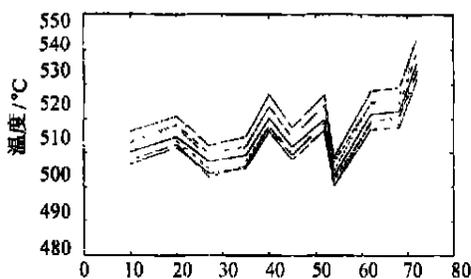


图 4 不同工况下对流炉外实测壁温沿烟道宽度分布

期间, 随负荷的波动炉内外管壁温度波动趋势相同, 但炉内管壁的波动幅度较大, 可通过拟合找到内

外壁温之间的关系。当炉内测点由于长时间运行被烧坏时, 利用炉内外壁温的关系, 通过对炉外工质温度的监测, 达到监测炉内壁温的目的。

3 高温过热器热偏差模型及三维壁温计算

在对过热器热偏差进行处理时, 重点放在吸热偏差上, 而结构偏差可不考虑, 设计时已考虑结构对称。过热器内工质流量的分配由过热器系统汽水连接方式确定, 主要考虑分配集箱和汇集集箱上的静压分布而得到过热器流量偏差。

3.1 热力偏差的处理

沿烟道宽度方向的烟温及烟速偏差, 由测量得到的工质温度偏差推导出^[1]:

$$\eta_t = \alpha_d \cdot \eta_{k0}^{\beta+2.6} \left(\frac{1-0.5\theta_{pj}}{1-\eta_{k0}\theta_{pj}} \right)^{0.65} + \frac{\alpha_f}{\alpha_d + \alpha_f} \eta_{k0}^{(\beta+1.55)}$$

$$\eta_{kw} = \eta_{k0}^4 \left(\frac{1-\theta_{pj}}{1-\theta} \right)$$

除烟道宽度方向外, 残余旋转使得后屏和对流区域的烟速和烟温分布左侧为上高下低, 右侧为下高上低, 具体数据参考文献[2]。

沿烟道深度方向, 烟速沿其流程与流通面积呈反比, 烟温按局部烟温的线形关系处理。

3.2 高温过热器壁温计算模型

对整个后屏和对流过热器区域进行过热器的管段及烟温空间的离散, 得到每一坐标点对应下的管长、局部烟气流速及局部烟气温度, 再利用以下模型进行局部壁温的计算:

$$t_{jbtw} = t_{jbgz} + \beta\mu q_{jb} \left(\frac{\delta}{\lambda_m} \cdot \frac{2}{\beta+1} + \frac{1}{\alpha_{2b}} \right)$$

以上各参数均为各个离散点的局部参数。

采用计算机进行编程计算, 得到的壁温分布如

图 5 和图 6 所示。

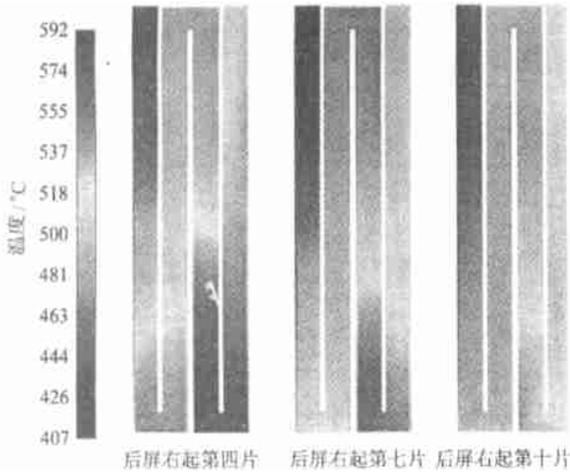


图 5 锅炉后屏过热器壁温分布

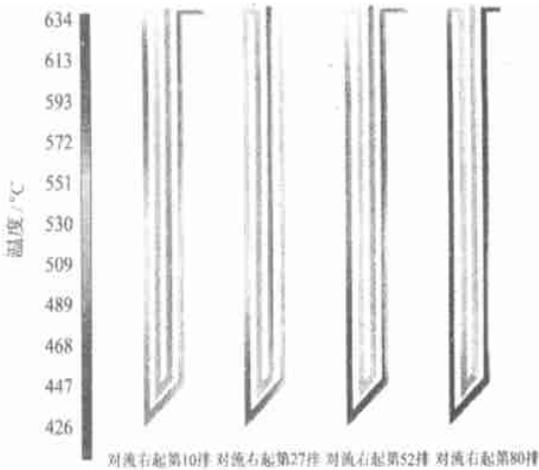


图 6 锅炉对流过热器壁温分布

据壁温计算结果可得出后屏及对流过热器的壁温分布具有以下特点:

(1) 每片屏壁温较高的区域位于后屏第二回程的拐角处; 沿锅炉烟道宽度方向, 由于烟气残余扭转导致烟温分布不均, 壁温最大的管屏位于左侧(采用逆时针切圆时)。

(2) 计算结果显示, 最大管壁温度的管屏位于左起第 4 片屏; 在满负荷下, 后屏区域的管壁温度最高为 592 °C, 整个后屏区域的温度均低于其采用材料所允许的工作极限, 不会发生短期过热。

(3) 对流过热器沿烟道宽度方向, 左侧温度比右侧高, 最高温度区域位于右起 80 排左右。各个管排最高温度区域位于对流外圈管下部靠近遮烟角的拐角处。在满负荷工况下对流过热器整体壁温水平高于后屏过热器, 其最高管壁温度 634 °C, 低于其所采用的 11 材料所允许的工作极限。

4 试验测量与壁温计算比较及结论

从表 1 的比较结果可以看出: 实际测量数值与理论计算比较接近, 其差别的主要原因是理论计算得到的各个管截面的平均壁温, 而测量数值在后屏区测点布置在背火侧, 壁温比理论计算值偏小; 对流区域测点布置在迎风面上, 实际测量值比理论计算值偏大。

表 1 实测炉内壁温与壁温计算比较

测点号	后屏左起 第 4 片	后屏左起 第 7 片	对流左起 第 27 排	对流左起 第 54 排	对流左起 第 80 排
试验测量值	585	525	624	636	645
理论计算值	592	530	605	625	634

综上所述, 其结论为:

(1) 试验测量及壁温的理论计算均表明, 采取四角切圆燃烧方式的锅炉机组, 在屏区及对流烟道内, 烟气残余旋转使得烟道中心区域不是壁温及烟温最高点, 在壁温计算及锅炉设计时, 应考虑残余旋转的影响。

(2) 对整个过热器区域而言, 对流过热器区域炉内管壁温度最高。对流过热器沿烟道宽度方向, 左侧温度比右侧高, 最高温度区域位于右起 80 排左右。最高温度区域位于对流外圈管下部靠近遮烟角的拐角处。

(3) 屏区最高壁温位于左起第 4 屏, 屏区壁温较高的区域位于后屏第二回程的拐角处。满负荷下, 最高壁温为 592 °C。

(4) 从试验测得的结果可看出, 在满负荷运行期间, 随负荷的波动炉内外管壁温度波动趋势相同, 但炉内管壁的波动幅度较大; 可通过拟合找到内外壁温之间的关系。当炉内测点由于长时间运行被烧坏时, 利用炉内外壁温的关系, 通过对炉外工质温度的监测, 实现炉内壁温及过热器使用寿命的监测。

参考文献:

- [1] 库兹涅左夫 H B, 米托尔 B B, 杜博夫斯基 И Е, 等. 锅炉热力计算标准方法[M]. 北京锅炉厂设计科译. 北京: 机械工业出版社 1976.
- [2] 袁益超, 陈之航, 施宝珍. 对流过热器与再热器的汽温偏差对烟温偏差的敏感性研究[J]. 动力工程, 1999, 19(2): 29-32.

(渠 源 编辑)

tual initiation of creep-strain stage III process there will emerge the problem of nonlinear localized (large deformation) creep damage. With reference to the latter the authors have given a damage constitutive description and presented a nonlinear localized creep-damage constitutive model along with its numerical variation theory and finite-element discretization form. This has led to the formation of another kind of elastic-plastic creep-damage theory and a new numerical variation method. **Key words:** heat-resistant steel, pressure parts and components, nonlinear localization, creep damage theory

湿压缩对压缩系统失速后瞬态响应的影响分析= **An Analysis of the Influence of Wet Compression on the Post-stall Transient Response of a Compression System** [刊, 汉] / WANG Yu-hui, SUN Yun-feng (College of Power and Nuclear Engineering under the Harbin University of Engineering, Harbin, China, Post Code: 150001), LIU Ming, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 67 ~ 70

A Moore-Greitzer model of a wet compression system was set up, which can be used to analyze the effect of wet compression on the post-stall transient response of a compression system. The simulation results of the model, qualitatively describing the effect of wet compression on the unstable operation performance of the compression system, indicate that under certain conditions the wet compression is conducive to eliminating surge and rotating stall. As a result, the operation stability of the system is enhanced along with an improved performance of the compressor, compression system and gas turbine. **Key words:** wet compression, compressor, compression system

高温过热器壁温测试及计算= **Test and Calculation of the Tube Wall Temperature of a High-temperature Superheater** [刊, 汉] / YU Yan-zhi, TANG Bi-guang (Power Generation Machine College under the Wuhan University, Wuhan, China, Post Code: 430072), LI Shu-lei (Huainan Pinxu Power Generation Co. Ltd., Huainan, Anhui Province, China, Post Code: 232089) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 71 ~ 73

Superheater tube explosions resulting from overtemperature is one of the major causes leading to an unscheduled shutdown of thermal power plants. To fully keep track of the situation regarding the superheater tube wall temperature, a real-time acquisition of the tube wall temperatures inside and outside the furnace and their changes was carried out on a 410 t/h super-high pressure boiler. Taking into account the distribution of three-dimensional flue gas temperature and speed, the authors have set up a model for calculating the distribution of the superheater tube-wall temperature inside the furnace and prepared a MATLAB language based three-dimensional visual-display computation program. With the help of this program it is possible to calculate the tube-wall temperature distribution at various locations of the superheater tube rows. Furthermore, one can also obtain a graphic display of the three-dimensional distribution of the flue gas temperature and speed as well as the superheater tube-wall temperatures. The results of a theoretical calculation were found to agree fairly well with those of experiments. **Key words:** superheater, tube wall temperature, boiler, calculation

应用焓方法分析 PFBC-CC 系统的环境影响= **An Analysis of the Environmental Impact of a PFBC-CC (Pressurized Fluidized Bed Combustion Combined Cycle) System by Using an Exergy Method** [刊, 汉] / ZHENG Pu-yan, CAI Ning-sheng, XIAO Jun, QIU Fang-fang (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the South-eastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 74 ~ 77

By using an exergy method a model for the thermal analysis of system emissions and waste heat was set up. Starting from the concept of exergy the environmental impact of emissions is analyzed in general. Furthermore, the impact on environment of a PFBC-CC (pressurized fluidized bed combustion combined cycle) power generation system has also been analyzed. The results of the analysis indicate that the environmental impact of CO₂ emissions and waste heat of the system should not be ignored. The transfer of element S from SO₂ into CaSO₄ can drastically reduce the environmental impact of the system. To achieve a more comprehensive analysis of the environmental impact with the help of the exergy method, it