

大型电站锅炉炉内温度场的数值试验研究

陈晓东 董 陈崇枢 秦裕琨
(哈尔滨工业大学)

〔摘要〕 运用计算机辅助优化数值试验方法对大型电站锅炉内温度场的特性进行了基础性研究。通过对炉内介质辐射传热的三维数值模拟,得出锅炉炉内温度场分布的相应规律。多数数值试验的计算结果和实际的现场测试结果吻合较好。

关键词 锅炉 温度场 计算机辅助试验

分类号 TK224 13

0 引言

电站锅炉炉内温度场的分布特性直接影响着煤粉的着火、燃尽以及锅炉的安全性。长期以来,锅炉的设计运行都依据实验所得的经验公式,或直接对模型和实物进行现场试验。但是,随着大型电站锅炉的发展,其容量越来越大,炉膛尺寸也越来越大,因而很难在现场实际测量到所有需要的温度值,更难找出整个炉内温度场的分布规律。

笔者对炉内煤粉颗粒及烟气的辐射、对流特性进行了较广泛的研究,并在此基础上提出了对大型电站锅炉炉内温度场的计算机辅助优化数值试验(CAT)的新设想。计算机辅助优化数值试验方法的实质是运用数值模拟方法,对各种具体的实际问题,在物理模型和数学模型及计算设计与分析方法的指导下,进行大量的优化计算,从而得出对工程应用有用的数据,并指导生产实践。

本文给出了描述炉内煤粉气流多相流动的三维辐射传热的数学模型,并在计算机辅助优化数值试验方法的基本原则指导下,对某电厂 300 MW 机组的 1025 t/h 锅炉进行了炉内温度场的数值试验。

1 物理模型

本文所研究的 1025 t/h 锅炉是“Π”型布置,炉膛横截面为 $12\ 195 \times 13\ 035(\text{mm}^2)$ 的近似方形。直流燃烧器采用四角切向布置。假想切圆直径为:外切圆 1180 mm,内切圆 730 mm

锅炉的主要设计参数:主蒸汽流量 $D=1025\ \text{t/h}$,主蒸汽压力 $P_{\text{gr}}=16.72\ \text{MPa}$,主蒸汽温度 $T_{\text{gr}}=540^\circ\text{C}$,给水温度 $T_{\text{gs}}=262^\circ\text{C}$ 。

2 辐射传热的数学模型

采用二阶假设法作为炉膛辐射传热计算模型^{〔1〕}。此模型的理论基础是能量方程和辐射能传递方程,并基于以下原则:(1)根据计算精度的要求,将计算结构划分为若干个计算分区,每一个计算分区为一个介质区,若干个假想面区以及实壁面区所组成的封闭几何体;(2)任一介质区内充满具有均匀吸收、辐射特性的等温灰体介质;(3)任一壁面区为均质、等温的灰体表面;(4)各个介质区和壁面区之间的辐射热量交换用假想面的有效辐射相耦合,假想面的有效辐射为其所在计算分区的二阶相邻分区所组成封闭系统的各外廓面区通过所含介质的吸收、

辐射性介质对该面区背向的投射辐射之和；(5)假想面不反射入射辐射热量，并对介质在各个计算分区之间的流动不发生作用。

在以上原则基础上，应用辐射传热学理论可分别推导得出任一存有吸热工质的壁面区能量守恒方程和介质区能量守恒方程如下^[2]：

$$\frac{F_m(T_m - T_{ma})}{R_m} + X_m \epsilon_0 T_m^4 F_m - X_m \left(\sum_{n=1}^M J_n S_n S_m \right) + \sum_{k=1}^{M_g} \epsilon_0 T_{gk}^4 g_{1S_m} = 0 \quad (1)$$

$$\epsilon_0 T_{g1}^4 (4K_{g1} V_{g1} - g_1 g_1) - \sum_{n=1}^M J_n S_n g_1 - I_1' + I_1'' + Q_{1f} = 0 \quad (2)$$

式中： X_m, F_m, T_m, R_m ——分别为面区 m 的黑度，面积 (m)，温度 (K) 和热阻 ($m^2 \cdot K/W$)；

$S_n S_m, g_{1S_m}$ ——面区 n 和介质区 1 对面区 m 的直接交换面积 (m^2)；

$g_1 g_1$ ——介质区 1 的自身的直接辐射交换面积 (m^2)；

J_n ——面区 n 的有效辐射 (W/m^2)

$T_{gk}, K_{gk}, V_{gk}, Q_{1f}$ ——介质区 1 的温度 (K)，吸收系数 (m^{-1})，体积 (m^3) 和化学反应释热率 (W/m^2)；

I_1', I_1'' ——流入和流出介质区 1 的焓值 (W/m^3)；

T_{ma} ——壁面区内工质的温度 (K)。

3 计算方法的总体思路

以煤炉锅炉炉膛燃烧传热一维数学模型为基础，用所得的热力参数界面平均值辅之该热力参数的界面分配系数作为局部区域三维的计算边界条件，进而做细化的三维传热计算。本文根据炉膛外形结构尺寸，将炉膛划分成许多计算网格点，沿炉膛长 (X 方向)，宽 (Y 方向) 和高 (Z 方向) 所划分的计算网格点数为 $9 \times 9 \times 12$ 整个数值模拟计算方法的具体内容见文献 [3]。

4 数值试验结果和分析

4.1 满负荷时炉内温度场的数值试验结果

计算机优化数值试验的方法能较直观地得到炉

膛内三维温度场的分布。在工程实际应用过程中，可以根据数值试验方法所得计算结果，有目的地选取炉膛内任一空间或局部区域的温度值。

本文的数值试验计算结果与利用 IRT-3000A 手持式快速红外测温仪现场 8 个测点的测量结果的对照见图 1 可见，二者吻合得较好。但之所以测量结果的四个角部介质温度存有偏差，而模拟计算结果相对均衡？其原因在于在工程的设计计算过程中，通常认为四个角的燃烧器是均匀配风，而现场的磨煤机布置在前墙，它通向四个角部燃烧器的一次风管道长度和形式不尽相同，致使四个角部燃烧器喷出的煤粉量和风量很难相等，四个角部的介质温度自然就会产生偏差。所以，这一数值试验结果提醒我们：在实际工程设计中，为避免四个角部的温度偏差，应该考虑上述提到的问题。

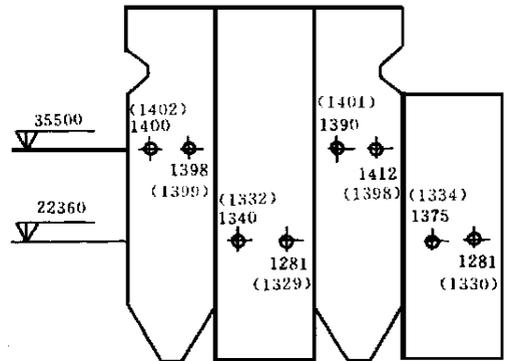


图 1 锅炉炉温测量结果与模拟计算结果对照图
(括号内的为模拟计算温度值)

4.2 改变燃烧器高宽比时炉内温度场的数值试验结果

数值试验中，假定锅炉其它结构参数保持不变，只是燃烧器的高宽比在 10.4 至 15.6 之间做规律性变动。通过图 2 和表 1 可知，随燃烧器高宽比的增加，火焰中心点向各方向传播的温度梯度均不同程度地降低。因而，当一、二次风喷口初始温度都一致的情况下，如果煤粉射流升温速度慢，就意味着达到着火点温度的时间推迟，从而火焰高温区远离燃烧

器喷口,降低了燃烧器喷口附近区域的高温腐蚀和结焦的可能性。同时,由于高宽比增大,射流刚性变差,实际切圆半径增加,是否炉壁结渣倾向增大,这要根据贴壁介质相对高温点离壁面距离变化情况而定。由图 3 可见,(1) $A < B$ 结渣可能性降低;(2) $A > B$ 结渣可能性增大。所以,在工程设计中,对于燃烧器高宽比的选取,我们可以通过数值试验的结果来模拟真实的燃烧工况,定量地选择一个比经验数据更为合理、准确的参数。

表 1 五种燃烧器高宽比的温度梯度对照表
(梯度单位: $^{\circ}\text{C}/\text{m}$)

高度比	(No. 1)	(No. 2)	(No. 3)	(No. 4)	(No. 5)
温度梯度	15.6	14.3	13.0	11.7	10.4
$k_1 = \frac{T_A - T_B}{AB}$	81.17	91.43	93.22	93.45	98.71
$k_2 = \frac{T_A - T_C}{AC}$	37.75	40.05	41.28	41.58	45.73
$k_3 = \frac{T_A - T_D}{AD}$	38.70	41.16	42.47	42.80	47.23

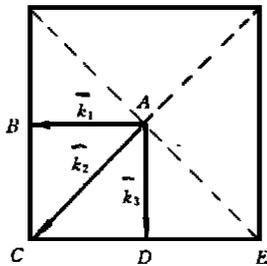


图 2 温度梯度方向示意图

5 结论

(1) 本文运用计算机辅助数值试验方法可以量化炉膛温度场的分布,比较真实地反映出炉膛燃烧

工况的组织及其影响规律。炉膛温度场的数值试验方法为探求锅炉相关因素对炉内温度场的影响提供了比较可靠的手段。

(2) 计算机辅助数值试验能够提供在一般条件下难以取得的数据。它与仅从理论性的实验中取得的数据相比,具有明显的优点。

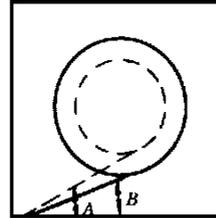


图 3 实际切圆变化对壁面结渣性影响

参 考 文 献

- 1 Dong Peng, et al. A model with the imaginary planes method for radiative heat transfer in furnace of utility boilers. Proceedings of International Power Engineering Conference, May, 1992 418~ 423
- 2 董 杰,李杰伟,陈晓东,秦裕琨.大型煤粉锅炉炉膛传热工程化数值计算方法的研究.哈尔滨工业大学学报,1994,26(1): 28~ 32
- 3 陈晓东.炉膛及燃烧器形状尺寸对炉内温度场影响的研究.哈尔滨工业大学硕士学位论文,1995

作者简介:陈晓东,男,1969年生,讲师,现工作于哈尔滨工业大学仿真中心。1995年于哈尔滨工业大学,热能工程专业硕士研究生毕业(通讯处 150001 哈尔滨工业大学能源学院)

欢迎订阅
《热能动力工程》

大型电站锅炉炉内温度场的数值试验研究 = **An Experimental Study of the Temperature Field Inside a Large-sized Utility Boiler Furnace by CAT** [刊, 中] / Chen Xiaodong, Dong Peng, Cheng Congshu, Qin Yukun (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 321- 323

Through the use of a computer aided test method a fundamental research is conducted of the characteristics of the temperature field in a large-sized utility boiler furnace. On the basis of a three-dimensional numerical simulation of the working medium radiation heat transfer in the furnace obtained is a pertinent in-furnace temperature field distribution law. The numerical test results in most cases are in relatively good agreement with those of the on-site tests. **Key words** boiler, temperature field, computer aided test

垂直布置倒 U 型管内气液两相流稳态特性及脉动特性研究 = **A Study of the Steam/Liquid Dual-phase Flow Steady-State and Pulsation Characteristics in a Vertically Placed and Inverted-U Shaped Pipe** [刊, 中] / Wu Yining, Lin Zonghu (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 324- 326

With Freon-113 serving as a working medium the steady-state and pulsation curves of steam/liquid dual-phase flow in a vertically placed inverted-U shaped tube is studied from both the experimental and theoretical aspects. The test range can be given as follows: outlet pressure $P_e = 0.2 - 0.4$ MPa, system heating power output $Q = 6.4 - 10.4$ kW, mass flow speed $m = 3 - 24$ kg/m. For the theoretical study adopted is a one-dimensional uniform-phase model with a difference method used for solving a group of conservation equations. Obtained are the steady-state flow rate differential pressure characteristics curves. Moreover, a numerical calculation method has been used to simulate pressure-drop type pulsation curves. **Key words** dual-phase flow, instability, pulsation

螺旋槽管凝结换热器的研究与应用 = **The Study and Application of Condensation Heat Exchangers Consisting of Spirally Corrugated Tubes** [刊, 中] / Wu Huiying, Shuai Zhiming (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 327- 329

An experimental study is made of a condensation heat exchanger with spirally corrugated tubes. Dimensionless correlations are obtained separately for phase transformation-related convective heat transfer in spirally corrugated tubes, tube-outside condensation heat transfer criteria and tube-inside flow resistance. On the basis of the test results the spirally corrugated tubes have been successfully used in power station condensation heat exchangers. **Key words** spirally corrugated tube, condensation heat exchanger, intensified heat transfer

含温多孔介质内热量迁移的研究 = **A Study of Heat Migration in Unsaturated Porous Media** [刊, 中] / Jin Feng, Shi Mingheng, Yu Weiping (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 330- 331

An analysis is given of the mechanism of heat migration under the coupled action of heat and moisture in unsaturated porous media. A mathematical model for calculating the heat migration in porous media is proposed. Also discussed is the effect of different boundary conditions on the temperature distribution in porous media. **Key words** heat transfer, porous media, coupled action, heat/moisture migration

煤燃烧特征点变化规律的研究 = **A study of the Variation Law of Coal-combustion Characteristic Points** [刊, 中] / Zhu Qunyi, Zhao Guangbo, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering of Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 332- 334

An experimental study is performed of the combustion characteristics of thirteen kinds of coals by using a