

膜式水冷壁壁温影响因素的数值分析

李志宏¹, 刘文铁², 刘石¹

(1. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100080; 2 哈尔滨工业大学 能源学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 采用有限差分方法对矩形鳍片及焊角鳍片膜式水冷壁进行温度场分布的数值计算, 并分析了这两种情况下的鳍片尺寸、热流密度、工质换热系数、导热系数对壁温的影响及管节距与许用壁温的关系, 编制了相应的计算程序, 为锅炉的设计和运行提供参考。

关键词: 膜式水冷壁; 传热; 温度场

中图分类号: T223.3 文献标识码: A

1 前言

在大型电站锅炉中, 普遍采用膜式水冷壁作为炉膛受热面, 循环流化床锅炉也越来越多的采用膜式壁结构。在锅炉运行中, 水冷壁炉膛侧受到炉内高温物质的强烈换热作用, 其壁温的高低对锅炉工作的可靠性及安全性影响很大, 应对水冷壁温度及强度进行分析。对于管壁温度, 因受管壁外表面高温氧化温度限制, 应主要分析水冷壁的最高温度。

2 计算模型及其边界条件

炉内侧传热参数已知的情况下, 水冷壁内的传热可看作一个不规则区域的稳态导热问题。由于水冷壁管子很长, 忽略沿管子长度方向上的热流, 将问题简化为二维、稳定、无内热源的导热问题。要得到膜式水冷壁管壁温度的分布规律就是求解满足给定边界条件的调和方程 $\Delta T=0$ 。

在进行离散求解时, 做如下假设:

(1) 系统传热处于稳定状态, 其值不随时间变化。

(2) 圆管和鳍片材料特性为各向同性。

(3) 圆管与鳍片连接处的接触热阻忽略不计。

(4) 管内工质与管内壁之间的传热系数沿圆周方向分布均匀, 为同一值。

(5) 炉膛与管壁及炉膛与鳍片之间的热负荷分布均匀, 为同一值。

(6) 不考虑金属腐蚀、结渣、积灰及结垢等外部条件的影响。

(7) 水冷壁外炉墙侧视为绝热条件。

根据对称性, 取图 1 矩形鳍片膜式水冷壁和带焊角鳍片膜式水冷壁为研究对象。采用区域分离法将计算区域分解为半圆环形及扩充后的矩形两部分。用有限差分方法分别对其控制方程进行离散, 网格系统分别为极坐标系统及直角坐标系统, 网格划分采用内节点法, 对于两者的重叠区域采用线性插值方法进行温度场拟合^[1-2]。

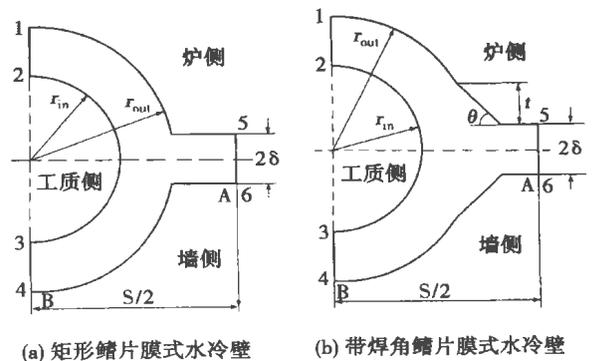


图 1 水冷壁结构

计算时取第二类及第三类边界条件。边界 1~2、3~4.5~6 及墙侧为绝热边界条件, 炉侧为给定热负荷的第二类边界条件, 工质侧为给定对流换热系数的第三类边界条件。

边界条件的处理采用附加源项法, 把由第二类和第三类边界条件所规定的进入或导出计算区域的热流作为与边界相邻的控制容积的当量源项。对于带焊角鳍片膜式水冷壁的焊角段采用区域扩充法实现实际边界与计算边界的转换^[1]。

3 计算内容

模拟计算时取表 1 中参数为基本工况^[3]。

表 1 水冷壁管结构及物理参数

	数 值
管子外径 D/mm	32
管子内径 d_n/mm	20
管节距 S/mm	46
鳍片厚度 $2\delta/\text{mm}$	6
工质平均温度 $t_f/^\circ\text{C}$	350
管壁导热系数 $K/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$	44
炉膛平均热流密度 $q_0'/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	349 997
水侧对流换热系数 $a/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$	20 000

对于具有焊角的膜式水冷壁管, 取焊角高度 t 为 5mm, 焊缝倾角 θ 为 45° (见图 1(b)), 其余参数不变, 为基本工况。计算时将考虑工质侧换热系数、金属导热系数、鳍片宽度及厚度和热流密度等因素的影响。

4 计算结果及分析

两种基本工况下的水冷壁温度分布见图 2, 沿管壁热流密度分布见图 3。由此可见, 带焊角鳍片膜式水冷壁的导热性能优于矩形鳍片膜式水冷壁。

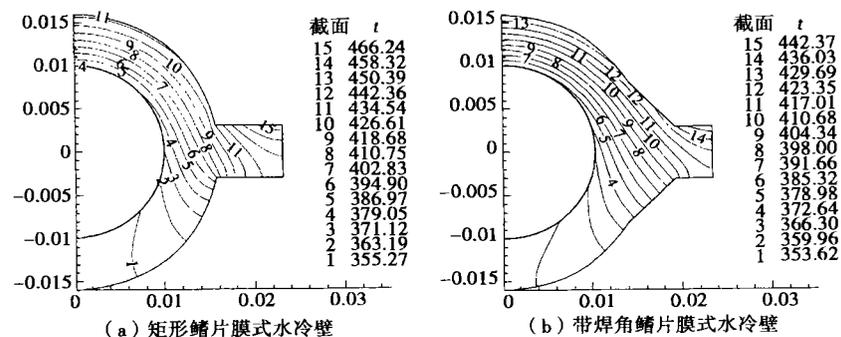


图 2 基本工况下水冷壁温度分布

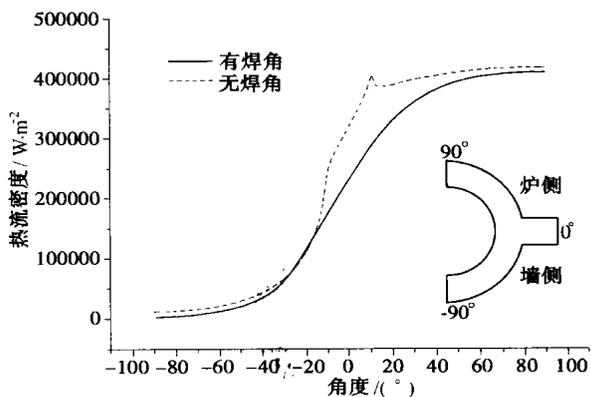


图 3 基本工况下沿管壁热流密度分布

前者最高壁温较低, 温度梯度小, 热流密度分布均

匀, 不易引起局部密度过高而影响管子寿命和危及锅炉安全。

4.1 水侧换热系数及工质温度的影响

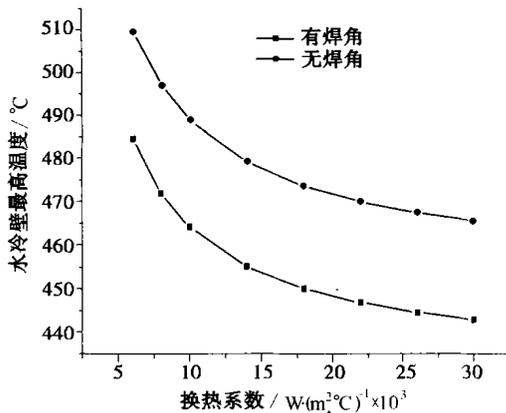


图 4 壁温与水侧换热系数的关系

取水侧换热系数的变化范围从 $6\ 000\ \text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 到 $30\ 000\ \text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ 时, 水冷壁最高温度的变化如图 4 所示。随着换热系数的增大, 水冷壁最高温度降

低, 但影响趋势逐渐减少。带焊角鳍片膜式水冷壁中圆管及鳍片最高温差要小于矩形鳍片膜式水冷壁中的最高温差。随工质温度升高, 水冷壁最高温度线性升高, 且两种情况下其水冷壁最高温度的差值为一常数。

4.2 金属导热系数的影响

金属导热系数变化而引起水冷壁壁温变化的情况如图 5 所示。随金属导热系数的增加, 管壁温度将降低, 其影响程度亦随导热系数的增加而减少。

实际上金属材料的导热系数为温度的函数, 但在金属壁温变化不大的情况下, 材料变导热系数对壁温的影响不大。如当管壁材料为各向同性时, 根据文献[3]中的 k 值进行相应的线性拟合, 得到变导热系数 $k=51.2-0.019\ 25\ t$ 。按金属壁温最大温差 $100\ ^\circ\text{C}$ 计算, 导热系数的最大值与最小值相差为 2。在其参数不变的情况下, 以矩形鳍片膜式水冷壁为例, 按其管内工质温度计算的导热系数为 44.5, 相应的水冷壁最高温度为 $470.72\ ^\circ\text{C}$; 而按水冷壁最高温度计算的导热系数为 42.2, 相应的水冷壁最高温度为 $476.35\ ^\circ\text{C}$, 最高温差相差不到 $6\ ^\circ\text{C}$; 当按上式以变导热系数计算时水冷壁最高温度为 473.98

℃, 最高温差相差约为 3 ℃。因此可取管内工质温度与水冷壁最高温度的平均值为标准来选取材料的导热系数, 然后将导热系数视为常数计算^[4]。

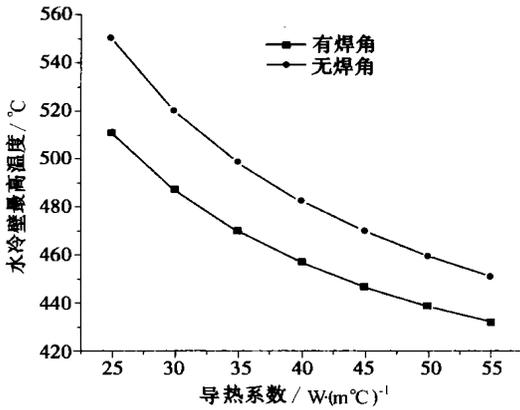


图 5 壁温与导热系数的关系

4.3 鳍片厚度的影响

不同鳍片厚度下水冷壁最高温度变化见图 6。随鳍片厚度增加, 水冷壁最高温度降低, 但影响趋势逐渐减少。两种情况下鳍片厚度对于圆管最高温度的影响不大; 采用带焊角的鳍片管后, 将使水冷壁最高温度大大降低。

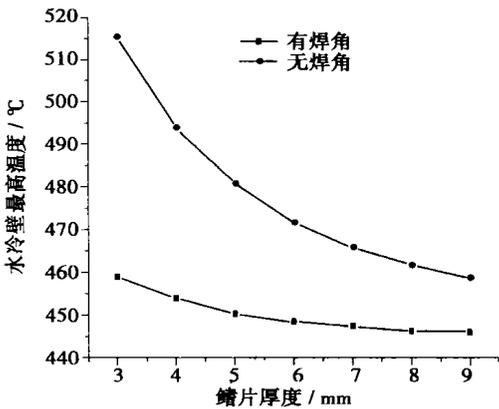


图 6 壁温与鳍片厚度的关系

4.4 鳍片宽度的影响

不同鳍片宽度下水冷壁最高温度变化见图 7。随鳍片宽度的增加, 水冷壁最高温度升高, 并且趋势加剧。

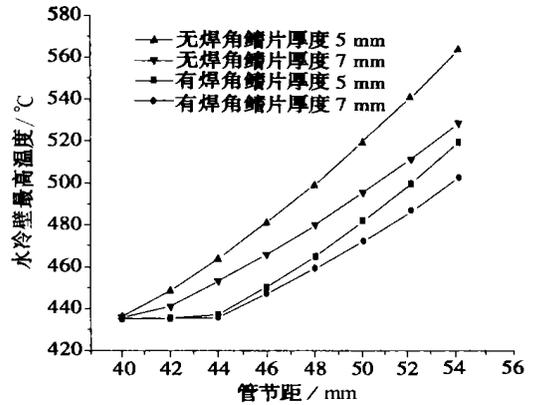


图 7 壁温与鳍片宽度的关系

4.5 炉内热流密度的影响

炉内热流密度与水冷壁温度的关系见图 8, 计算时取热流密度为常数。随热流密度的增加, 管壁最高温度亦随着增加, 且呈较好的线性关系。

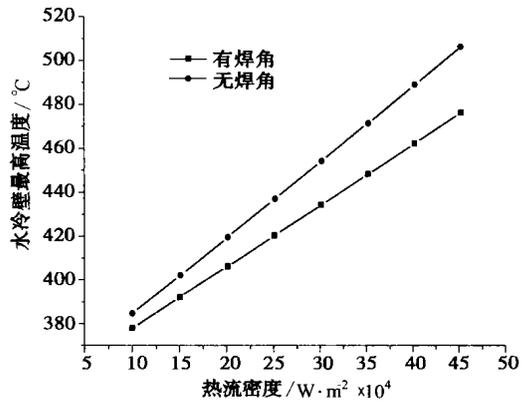


图 8 壁温与热流密度的关系

4.6 管节距与金属许用温度的关系

水冷壁壁温由于受其外表面形成氧化皮的温度及热应力所限制, 不能超过一定值, 该值与所用金属材料有关。如碳钢一般认为在 540 ℃以下时, 因其抗氧化性强, 不必担心氧化问题。只有当温度达到 570 ℃以上, 由于氧化膜成分的变化才使其抗氧化性急剧下降^[5]。但因炉膛热负荷分布不均及管内工

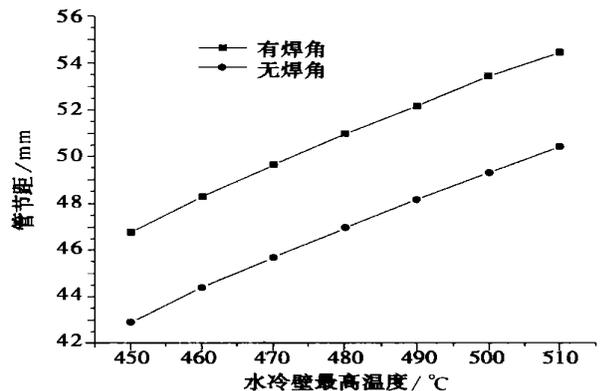


图 9 许用壁温与管节距的关系

质波动等原因,造成壁温波动,有时会较大。另外,由于受到管子内外壁腐蚀及炉侧物料颗粒的磨损,导致管壁厚度减少,管子金属承受的压力加大;管子金属在高温蠕变作用下,其强度降低^[9]。因此在考虑一定安全余度的情况下,取许用壁温的变化范围450~510℃进行分析。图9为基本工况下金属最高壁温与管节距的关系。其取值只改变鳍片宽度,其余参数不变。由图9可见,相同许用壁温下带焊角鳍片膜式水冷壁的管节距大,相同管节距下的安全余度大。

5 结 论

本文采用数值分析的方法对锅炉膜式水冷壁的壁温及其影响因素进行了分析,结果分析表明,影响水冷壁温度分布的各种因素对两种膜式水冷壁结构:矩形鳍片膜式水冷壁和带焊角鳍片膜式水冷壁温度场的影响程度不同,其热流密度分布不同。带焊角鳍片膜式水冷壁的温度场优于矩形鳍片膜式水

冷壁温度场,其最高温度值较低,温度梯度小,沿管壁热负荷分布均匀,且最大热负荷的值较低,相对安全余度较大,有利于锅炉安全运行。

通过对许用壁温下管节距的研究,指出了两者之间的关系。

参考文献:

- [1] 陶文铨.数值传热学[M].西安:西安交通大学出版社,1988.
- [2] 盛春红,陈听宽.膜式水冷壁温度场分布的数值计算[J].热能动力工程,1998,13(1):61-65.
- [3] JAN TALER. A method of determining local heat flux in boiler furnaces [J]. *J Heat Mass Transfer*, 1992 35(6): 1625-1634.
- [4] 张继锋,岳光溪,方肇洪.循环流化床锅炉水冷壁壁温与热流的计算研究[J].锅炉技术,1998(12):1-4.
- [5] 杨文鸽.鉴别临危管子预防锅炉爆管[J].动力工程 1995, 15(1):45-50.
- [6] 魏铁铮,谢英柏.锅炉高温受热部件寿命的计算方法.[J].动力工程,2000,20(1):528-530.

(何静芳 编辑)

高效大功率的 PG7251FB 燃气轮机

据《Gas Turbine World》2002年5~6月号报道,第一台改进设计加大功率的GE MS70001FB(Frame 7FB)燃气轮机正在宾夕法尼亚州汉特斯汤市的 Reliant Resources 调峰电站经受简单循环现场试验。

60 Hz 7FB 是现代的空气冷却燃气轮机,它针对联合循环工作状态进行了优化,在工程设计、材料和涂层方面结合了最新技术。

与7FA比较,7FB以更高的涡轮进口温度和压比工作,具有更高的输出功率和效率,而且保持同样的或更长的大修寿命。

以天然气作为燃料,PG7251FB在发电机端子上的净额定功率为184.4 MW,热耗率为9722 kJ/kWh(37%效率)。

所有的7FB均装有标准的预混低NO_x燃烧室。以天然气作为燃料,在全负荷输出功率下的NO_x排放值为9 mL/km³。

标准的1×1联合循环装置的额定输出功率为280.3 MW,效率为57.3%;2×1配置的额定输出功率为562.5 MW,效率为57.5%。

FB的压比从FA的15.5提高到18.5。压气机是18级亚音速轴流式装置,装有1列可变几何的进口导叶,以便在宽广的运行范围内保持高的部分负荷效率。变几何导叶也改进了低速喘振特性、便于启动并在联合循环应用中提供了更好的部分负荷性能。

(思娟 供稿)

neering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) //Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2003, 18(2). 163—165

A numerical simulation was conducted of the particle movement in a fluidized bed with two-dimensional non-uniformly distributed air. In addition to dealing with a gas-phase field by the use of Euler method a Lagrangian method is employed to treat a discrete particle field, directly keeping track of each particle in the particle field. The results of simulation indicate that there exists in the fluidized bed with non-uniformly distributed air an inner circulation movement of the particles. Hence, the mixing characteristics of the particles in the fluidized bed under discussion are superior to those in a conventional fluidized bed with uniformly distributed air. **Key words:** non-uniformly distributed air, fluidized bed, discrete element method

地源热泵竖直埋管的有限长线热源模型 = A Model of Finite-length Linear Heat-source for the Vertical Embedded Pipe of a Ground-source Heat Pump [刊, 汉] /ZENG He-yi, DIAO Nai-ren, FANG Zhao-hong (Research Institute of Ground-source Heat Pumps under the Shandong Institute of Architectural Engineering, Jinan, China, Post Code: 250014) //Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2003, 18(2). 166—169

Analyses and discussions were conducted of a non-steady heat transfer model for the vertical embedded pipe of a geothermal heat exchanger. With the use of a virtual heat source and Green function method obtained is an analytical solution expression for the non-steady temperature field generated by a finite-length linear heat source in semi-infinite large media. By way of comparison with a steady-state temperature field solution discussed is the time required for the temperature field to attain a nominal "steady state". Meanwhile, an analysis is performed of the temperature field when it has reached a steady state. In this connection a mistake that appeared in current textbooks was indicated. Two representative steady-state borehole wall temperatures, i. e., the temperature at the middle of the borehole and the integral mean temperature along the borehole, are defined. A comparison of the difference between these two temperatures has led to a simplified calculation formula, suitable for engineering applications. On the basis of the above analyses discussed further is the impact of the annual imbalance between heating and cooling loads of geothermal heat exchangers on their long-term performance. **Key words:** ground-source heat pump, geothermal heat exchanger, heat conduction, heat transfer model

大型锅炉长期动态特性研究中的烟气计算模型 = Flue-gas Calculation Model Used in the Study of Long-term Dynamic Characteristics of a Large-sized Boiler [刊, 汉] /LI Yun-ze, YANG Xian-yong (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) //Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2003, 18(2). 170—172

The study of long-term dynamic characteristics of a large-sized turbogenerator set requires a simplified, accurate and rapid calculation of flue-gas heat release rate. To eliminate the main deficiency of currently used flue-gas heat release simulation models the authors have deduced from Dybosky-Broch formula of large-sized boiler thermodynamic calculation a new flue-gas heat release model for the simulation and analysis of dynamic characteristics. Moreover, through a concise analysis, simplification and deduction obtained was a method for calculating flue-gas outlet temperatures and heat release rates in a dynamic process for various boiler heat exchange surfaces. The recommended easy-to-use flue-gas calculation model offers a relatively accurate and simple expression of the variation mechanism of flue gas temperature and heat release rate of high-temperature gases in the furnace and various gas-pass heat exchange surfaces of a large-sized boiler during a dynamic process. The flue-gas calculation model has been used to simulate the dynamic characteristics of a 600MW super-critical power generation unit with rational and accurate simulation results being obtained. **Key words:** large-sized boiler, long-term dynamic characteristics, simulation, flue-gas calculation model

膜式水冷壁壁温影响因素的数值分析 = Numerical Analysis of Factors Having an Impact on the Wall Tempera-