

DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.19069

1 000 MW 燃煤机组不同负荷锅炉传热特性

石楚, 李冉, 杨震, 段远源

(清华大学能源与动力工程系, 北京市 海淀区 100084)

Heat Transfer in Furnace of 1 000 MW Coal-fired Unit Under Different Load Conditions

SHI Chu, LI Ran, YANG Zhen, DUAN Yuanyuan

(Department of Energy and Power Engineering, Tsinghua University, Haidian District, Beijing 100084, China)

摘要: 以 1 000 MW 超超临界塔式锅炉为研究对象, 建立了锅侧和炉侧的三维耦合传热计算模型。基于锅炉的设计参数, 采用该模型计算了锅炉传热过程。对超超临界锅炉不同负荷条件进行数值模拟, 分别选取锅炉的最大连续蒸发量(boiler maximum continuous rating, BMCR)工况、75% BMCR 工况和 50% BMCR 工况来考察机组在调峰时锅炉传热规律。通过对炉侧炉膛壁面、炉膛内部、炉膛水平截面温度和热流分布以及水冷壁管壁和工质温度分布的分析, 发现 BMCR 工况、75% BMCR 工况的温度和热流在炉膛内的变化趋势一致, 而 50% BMCR 工况的温度变化缺乏一般性规律, 并且在螺旋水冷壁区域容易出现传热恶化现象。

关键词: 超超临界锅炉; 三维耦合模拟; 锅炉传热; 调峰运行

ABSTRACT: A 3D coupled mathematical model of 1 000 MW ultra-supercritical tower boiler was established. Based on the design parameters of the boiler, the model calculated the flow and heat transfer process of the boiler in operation. The model was used to simulate different load conditions of the supercritical boiler. The boiler maximum continuous rating (BMCR) condition, 75% BMCR condition and 50% BMCR condition were selected to explore the heat transfer during peak shaving operation. By analyzing the temperature and heat flux distribution in the furnace and the temperature distribution in the tube and on the water cooled wall, it is found that the temperature and heat flux change of the BMCR, 75% BMCR are in the similar trend while the temperature change of the 50% BMCR is irregular, and the heat transfer deterioration is prone to occur in the spiral water cooled wall region.

KEY WORDS: ultra-supercritical boiler; 3D coupled simulation; heat transfer; peaking operation

基金项目: 国家重点研发计划项目(2015CB251502)。

Project Supported by National Key Research and Development Program (2015CB251502).

0 引言

近年来, 尽管风能、太阳能等新能源发电占总发电量的比例逐年增大, 但火力发电依旧占据我国发电的首要地位, 发电量占比达 60% 以上^[1]。从整体能源发展现状来看, 虽然新能源装机容量在逐年扩大, 但在我国西北地区已经出现大量的弃光弃风现象^[2]。在我国以火力发电为主要支撑的发电结构下, 由于风能太阳能等能源发电具有波动性和间歇性^[3-4], 为提高风能、太阳能等新能源的电网消纳能力, 火电机组需承担重要的深度电网调峰任务, 提高大型火力发电机组的运行灵活性成为如今火力发电面临的重要挑战之一^[2,5-7]。

对于火力发电, 大容量高参数的超临界机组具有清洁高效低煤耗的显著优点^[8], 是火力发电机组的未来发展趋势。机组锅炉中的传热过程影响机组的运行效率并对锅炉的安全运行至关重要。因此, 研究锅炉传热对提高机组热效率以及运行安全性具有重要作用。为应对变负荷运行需求, 超(超)临界机组需要在不同负荷下运行。当深度调峰时, 机组运行可以从超临界压力转为亚临界压力。因此, 研究超(超)临界机组在不同压力条件下的运行特性对于超(超)临界机组应对不同负荷需求的运行是十分重要的。而对于不同负荷下的锅炉传热计算, 不仅需考虑炉侧的燃烧传热, 还需考虑锅侧的工质流动换热。为了能够更加真实地模拟不同负荷下的锅炉传热, 需要对炉侧和锅侧传热进行耦合计算。

目前, 国内外已有一些学者对超高参数锅炉燃烧及传热过程开展了数值模拟研究。对于炉膛

内的各参数分布,文献[9-11]分别针对不同容量的机组进行探究,得到炉内煤燃烧过程的组分浓度场、烟气速度场以及温度场等。Maidanik 等^[8,12-13]模拟了锅炉炉膛燃烧过程,得出燃烧器的参数对炉内燃烧状况以及 NO_x 等污染物排放的影响规律。对于炉内传热状况,丘全科^[14]运用 Fluent 对 1000MW 锅炉的燃烧侧进行模拟,得出炉膛内的传热规律,建立炉锅两侧的耦合传热模型,得出燃烧区域的热流分布特性,并采用 Senior-Srinivasachar 模型^[15]和 Cundick 模型获得水冷壁的结渣规律。Wieslaw 和 Marzena^[16]建立了炉锅两侧的耦合传热模型,得到螺旋水冷壁内工质温度沿炉膛上升方向的分布规律。

对于多负荷运行条件,文献[2]对亚临界自然循环锅炉工质流量和管壁温进行建模,得到锅炉深度调峰时的流量分配特性和热负荷变化规律,发现在深度调峰时不会出现循环停滞。同时,文献[16-19]对变负荷时炉内温度变化规律进行探索,得到热负荷与工质流量的匹配特性以及锅炉安全运行的负荷区间。

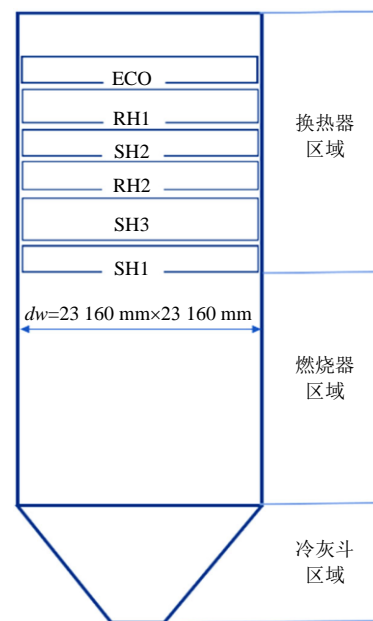
综上所述,在目前研究中,对燃煤机组内炉膛燃烧与锅侧水工质间耦合传热的研究相对较为缺乏,而在实际锅炉中,炉和锅两侧传热是相互影响的。比如炉墙四周的水冷壁温度受到水工质换热的影响,是炉内传热的热边界,而在文献中炉膛传热的数值模拟大多忽略了煤粉燃烧过程中壁面温度的动态变化,不能反映工况变化时炉内的真实燃烧状况。另外,锅炉具有三维结构,其炉墙壁温具有三维空间分布特征,造成其传热过程的复杂性。本文对 1000 MW 超超临界塔式锅炉的炉侧和锅侧传热进行三维建模,考察炉侧燃烧和锅侧水工质之间的耦合传热过程,同时针对锅炉调峰运行的需求,进行不同负荷条件下的锅炉传热计算,探究负荷改变对锅炉传热过程的影响。

1 锅炉结构和运行条件

1.1 锅炉结构

本文计算的 1000 MW 超超临界锅炉具有塔式炉膛和四角单切圆燃烧方式。图 1 展示了锅炉的大体结构和主要换热器和燃烧器的布置方式,

锅炉尺寸是 $23.16\text{ m}\times 23.16\text{ m}\times 126\text{ m}$,在炉膛的四角分别设置 12 个煤粉燃烧器喷口,每一列燃烧器分为上、中、下 3 层,同时在燃烧器上方设置燃尽风喷口,增加煤粉的燃尽率,燃烧器截面图如图 2 所示。由于超(超)临界机组参数高,容量大,受热面管路众多,管路的截面尺寸与燃烧室尺寸相差悬殊^[8],所以在建模时,不考虑受热面管路的具体结构,在 Fluent 中采用多孔介质模型^[20-21]进行传热计算。



ECO—省煤器; RH1—一级再热器; SH2—二级过热器;
RH2—二级再热器; SH3—三级过热器; SH1—一级过热器。

图 1 锅炉结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of boiler structure

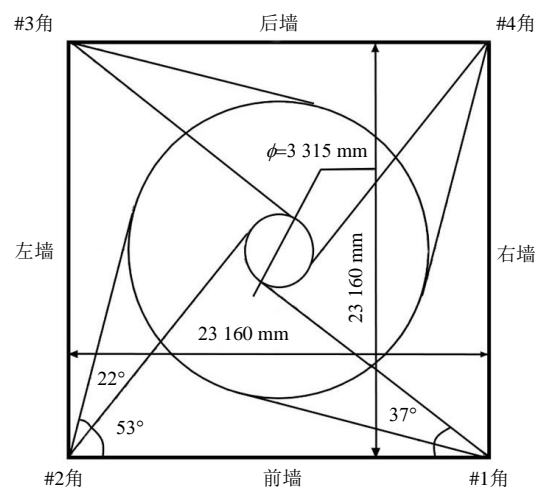


图 2 燃烧器截面图

Fig. 2 Burner section diagram

1.2 锅炉运行工况

业界对锅炉侧和汽机侧的运行工况的划分标准不完全相同，本文采用锅炉侧最大连续蒸发量 (boiler maximum continuous rating, BMCR) 的负荷标准来进行计算，其中 BMCR 表示在满足蒸汽参数、炉膛安全情况下的最大出力。本文选取 BMCR 工况、75% BMCR 工况和 50% BMCR 工况进行锅炉的传热计算。

根据设计参数，锅炉在 BMCR、75% BMCR 和 50% BMCR 三个工况下的主蒸汽压力分别为 27.46、21.76、14.87 MPa，所以 BMCR、75% BMCR 工况锅炉处于超临界运行工况，在 50% BMCR 工况，锅炉处于亚临界运行工况^[22]。不同工况下锅炉设计的燃料量如表 1 所示。

表 1 不同负荷工况燃料消耗

Tab. 1 Fuel consumption in different load conditions

项目	负荷		
	BMCR	75% BMCR	50% BMCR
燃料消耗量/(t/h)	371.29	294.09	204.41
输入热量/MW	2412.4	1910.8	1328.1

在不同负荷条件下，由于给煤量和蒸发量的不同，炉内燃烧和传热条件发生改变，所以根据实际电厂的运行数据，对不同负荷的二次风、燃尽风和一次风的风速和风温进行修正，修正后的入口条件如表 2 所示。

表 2 3 种工况的入口条件

Tab. 2 Entrance conditions for three operating conditions

负荷	一次风	二次风	CC	SS	一次风温/度/°C	二次风温/度/°C
	风速/(m/s)	风速/(m/s)	OFA 风速/(m/s)	OFA 风速/(m/s)		
BMCR	18.2	30.6	51.1	35.5	90	340
75%BMCR	17.6	23.1	51.6	35.7	90	320
50%BMCR	13.4	18.4	40.0	27.7	90	300

2 计算方法和控制方程

2.1 炉侧计算

采用计算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) 来模拟炉侧的煤粉燃烧过程，主要过程包括挥发分的挥发、焦炭燃烧、气相燃烧和两相流流动，选用的主要燃烧模型如表 3 所示。

表 3 燃烧计算模型

Tab. 3 Summary of Combustion Calculation Models

物理过程	计算模型
挥发分挥发过程	双步竞争反应模型 ^[23]
焦炭燃烧	动力/扩散模型 ^[24-25]
气相反应	有限速率涡耗散模型 ^[26]
两相流	拉格朗日随机轨道模型 ^[27]

2.2 锅侧计算

本文对水冷壁进行三维模拟，整体思路是先将锅炉水冷壁展开成二维，如图 3，根据热流密度、管数和工质流动方向来对此二维的水冷壁面分区，对每一区进行沿流动方向上的一维计算，得到整个二维水冷壁面上的参数分布，再反推得到三维水冷壁参数分布。

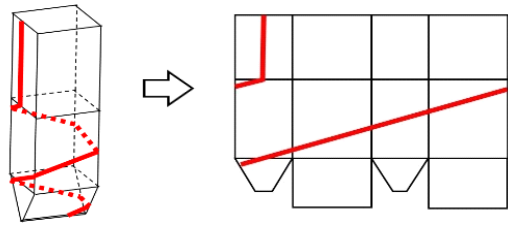


图 3 水冷壁四墙展开简图

Fig. 3 Schematic diagram of water wall four-wall expansion

在计算温度时，部分参考文献^[28-30]将管壁截面看作是不规则的传热截面，利用有限差分的方式得到温度场，但是计算量大、耗时长。本文只需要计算每个网格节点的集总温度，所以壁面采用二维稳态导热^[31]进行计算。

在螺旋管和垂直管上的每个区段都视为沿流动方向的一维对流传热，其中，水的热物性计算方法采用 MATLAB 直接调用 refprop 数据，采用固定边界法，以每个节点处的出口参数作为集总参数，上一节点的出口视为下一节点的入口，每个节点处工质流动方向见图 4。

每个控制体的计算方程如下。

质量平衡方程：

$$D_1 - D_2 = V \frac{d\rho_2}{d\tau} \quad (1)$$

能量平衡方程：

$$Q_{in} + D_1(h_1 - h_2) = V\rho_2 \frac{du_2}{d\tau} \quad (2)$$

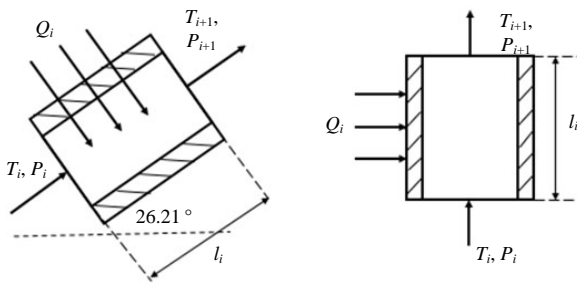


图4 水冷壁四墙展开简图

Fig. 4 Computational nodes on spiral and vertical tube

动量平衡方程:

$$P_1 - P_2 - \rho_1 Hg - (\rho u)_2(u_2 - u_1) = \xi \frac{(\rho u_2^2)}{2\rho_2} \quad (3)$$

式中: D 为质量流量; V 为体积; Q_m 为热量通量; h 为水工质焓值; u 为水工质流速; P_1 为出入口压力; H 为节点高度; ξ 为阻力系数; 下角标 1 表示控制体入口参数; 下角标 2 表示控制体出口参数。可以看到, 压降分为 3 部分, 分别是重力压降、加速压降和沿程阻力压降。

在 Fluent 中利用加载 UDF 的方法对锅炉传热过程进行耦合计算, 计算流程图如图 5 所示。

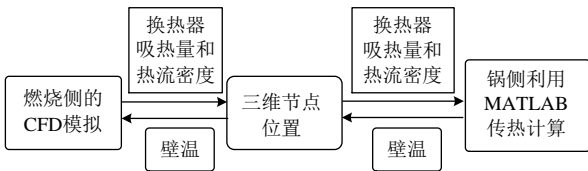


图5 三维耦合传热计算过程

Fig. 5 Three-dimensional coupled heat transfer calculation process

3 结果与讨论

分析锅炉在不同负荷下运行的传热规律, 主要对炉侧的炉膛壁面、炉膛内部、炉膛水平截面的温度以及热流进行分析, 并结合炉侧的温度规律, 分析锅侧水冷壁管壁和工质温度的分布特点。

图 6 和图 7 分别展示了两面炉墙的热流分布和温度分布, 由于锅炉采用四角切圆燃烧方式并且炉膛截面是正方形的平面结构, 所以只对左墙和前墙来分析炉墙的温度和热流规律。

从整体分布来看, 热流和温度具有相同的分布特点, 都是中间高两侧低。当负荷变化时, 随着负荷的降低, 热流密度下降明显。以炉墙中心

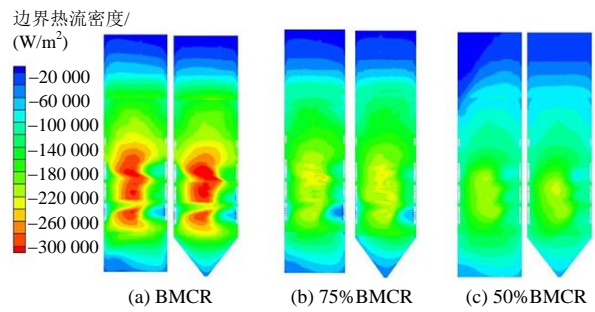


图6 前墙和左墙的热流密度分布云图

Fig. 6 Heat flux distribution on the front wall and the left wall

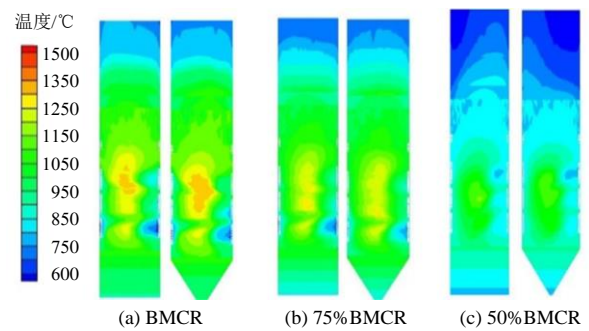


图7 前墙和左墙温度分布云图

Fig. 7 Temperature distribution on the front wall and the left wall

的最高热流密度值为例, BMCR 的最高热流密度达到 $34\,777\text{ W/m}^2$, 而 75% BMCR 的最高热流密度为 $27\,389\text{ W/m}^2$, 为 BMCR 工况最高热流密度的 78.8%, 另外 50% BMCR 的最高热流密度达到 $24\,374\text{ W/m}^2$, 仅为 BMCR 工况最高热流密度的 70%。而对于温度分布, 越靠近炉膛上部, 负荷降低时, 炉膛上部出现不对称性, 当负荷为 50% 时, 炉膛上部的温度分层不明显, 并且同一高度的温度偏差增大。总体上在变负荷时, 炉膛壁面的温度和热流的变化趋势是一致的, 负荷降低, 最高热流密度和最高温度都下降, 并且在 50% BMCR 工况时受热面布置区域出现热流和温度不对称分布。

选取 $x=0, y=0$ 两个截面如图 8 所示, 观察炉膛中心的两个纵向截面的温度分布, 发现在炉膛中, 与壁面温度变化趋势不同的是当负荷降为 75% BMCR 时, 炉内最高温度没有显著变化, 原因在于虽然负荷降低、煤粉量降低, 但一次风速和二次风速也有所降低, 减缓了对炉膛的冷却作用, 使得 BMCR 负荷和 75% BMCR 负荷的炉膛

内部最高温度没有显著变化, 而到 50% BMCR 负荷时, 风速的作用难以弥补燃料量减少所带来的热负荷降低, 出现明显的温度下降。另外在炉膛中心图的高温区分布可以看出, 由于在燃烧器喷口处氧气浓度是最高的, 但是温度也相对较低, 所以主要燃烧反应发生在燃烧器喷口一段距离处, 而在 50% BMCR 工况由于燃料量的减少使化学反应持续的距离大大减小。

图 9—11 分别为 3 个工况下炉膛燃烧器截面温度分布, 分别选取上、中、下 3 组燃烧器的其中一层, 选取的燃烧器截面的炉膛高度分别为 40.4、32.3、24.2 m。

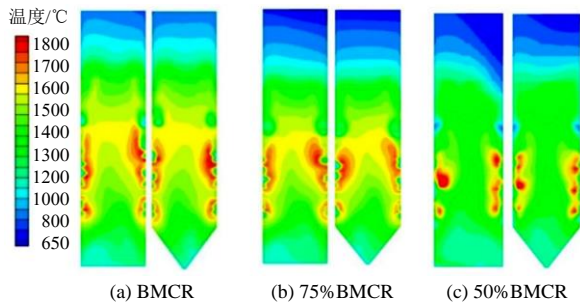


图 8 $y=0$ 和 $x=0$ 的炉膛截面温度分布云图
Fig. 8 $y=0$ and $x=0$ furnace cross-section temperature distribution

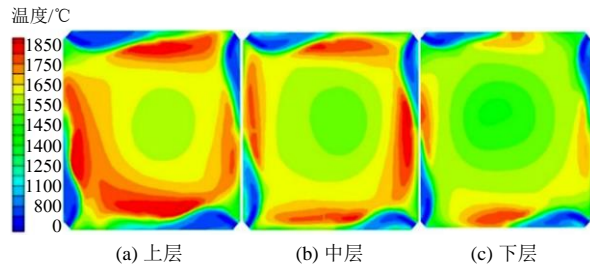


图 9 BMCR 工况燃烧器处炉膛截面温度分布云图
Fig. 9 Temperature distribution on furnace sections at burner under BMCR conditions

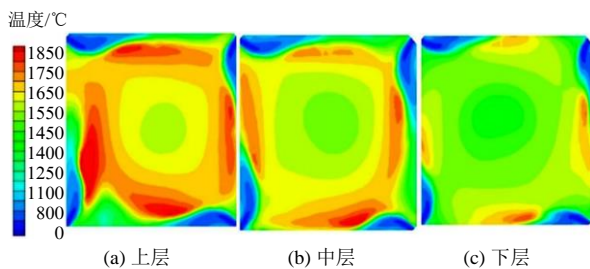


图 10 75% BMCR 工况燃烧器处炉膛截面温度分布云图
Fig. 10 Temperature distribution on furnace sections at burner under 75% BMCR conditions

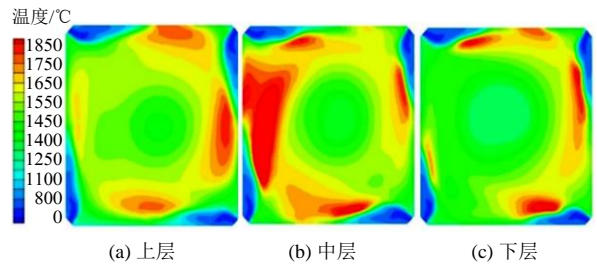


图 11 50% BMCR 工况燃烧器处炉膛截面温度分布云图
Fig. 11 Temperature distribution on furnace sections at burner under 50% BMCR conditions

总体上 3 个不同负荷的燃烧器截面温度分布特点是一致的, 都是下层燃烧器截面的平均温度最低, 上层截面平均温度最高。从图中可以看出主要燃烧反应发生在炉墙附近, 所以在四周壁面形成高温区。但是在 50% BMCR 工况, 3 个截面的高温区出现不对称分布, 这是由于当锅炉在较低负荷下运行时, 由于燃料量偏离设计工况较多, 炉膛内的燃烧状况恶化, 导致炉内同一截面出现较大的温度偏差。

燃烧室的水冷壁管布置在炉膛四周墙壁, 最容易受到过热的危险^[16], 所以对水冷壁的壁温以及管内工质温度分布规律的探究是非常必要的。

图 12 和 13 分别展示了水冷壁管壁温度和工质温度沿管长的分布, 通过对比水冷壁壁面温度和工质温度, 在超临界条件下的 BMCR 工况和 75% BMCR 工况的工质温度沿管长方向具有相同的变化趋势, 在管长 60 m 之前水冷壁螺旋布置, 管壁温度出现波动, 在 0~20 m 由于水工质温度较低, 管壁和工质之间传热温差大, 所以工质

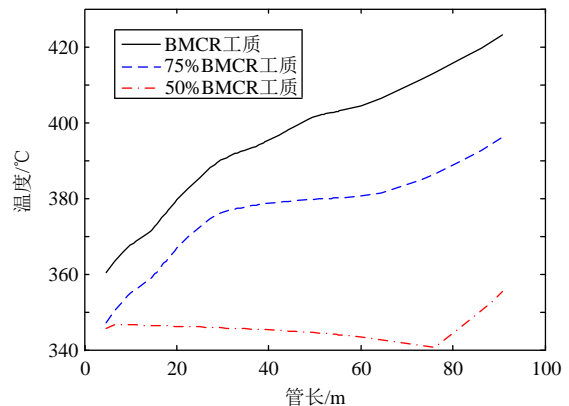


图 12 3 种负荷工况下螺旋管内工质沿管长温度分布
Fig. 12 Temperature distribution along the direction of pipe under three load conditions

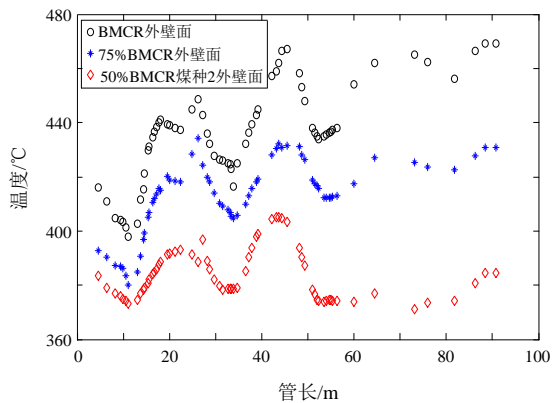


图 13 3 种负荷工况下螺旋管沿管长方向壁温分布
Fig. 13 Wall temperature distribution along the direction of pipe under three load conditions

温度攀升速度较快;而在 20~50 m 范围由于工质温度上升,管壁内外传热温差减小,所以温度上升速度减缓;而在 60m 以后,由于进入垂直水冷壁区域,沿水冷壁管长方向烟气温度上升,管壁温度上升,所以工质温度保持持续上升趋势。相比于超临界工况,50% BMCR 运行工况下管外壁温度和工质温度分布不具有以上规律,水工质进入螺旋管圈之后开始进入两相区,温度始终保持在当地压力下的饱和温度,由于压力沿着管长逐步降低,饱和温度也相应降低,此区域的水工质在随着管长的方向上稍有下降,在管长 75 m 后水工质由两相区进入饱和蒸汽态,由于饱和蒸汽的比热容较低,工质温度出现上升趋势。

4 结论

1) 在不同负荷时,炉膛壁面的温度和热流的变化趋势是一致的,负荷降低,最高热流密度和最高温度都下降,并且在 50% BMCR 工况时受热面布置区域出现热流和温度不对称性。

2) 对于炉膛内部,当负荷降为 75% BMCR 时,炉内温度由于风速的降低,不会出现明显的温度下降,但是当负荷降低为 50% BMCR 时,风速的降低不足以弥补由燃料量降低所导致的温度下降,出现温度的大幅下降。

3) 对于燃烧器部分,在不同负荷时,3 组燃烧器总是下层燃烧器温度最低,而上层燃烧器温度最高,50% BMCR 负荷的燃烧器截面高温区分布出现不规则分布。

4) 锅炉调峰过程中,当负荷降到 50% BMCR 时,炉膛内烟气温度和锅侧换热器壁面温度分布缺乏规律性,温度分布不均容易造成部分管内出现膜态沸腾,导致高温爆管等锅炉事故,出现传热恶化现象。

参考文献

- [1] 方圆,张万益,曹佳文.我国能源资源现状与发展趋势[J].矿产保护与利用,2018(4):34-42,47.
- [2] 马玉华,邢长清,徐君诏,等.深度调峰负荷时亚临界自然循环锅炉水循环安全计算与分析[J].热力发电,2018,47(10):108-114.
- [3] 马世英,王青.大规模新能源集中外送系统源网协调风险及仿真评估[J].发电技术,2018,39(2):112-117.
- [4] 史洁,刘晓飞.新能源功率预测算法优化研究[J].发电技术,2019,40(1):78-82.
- [5] 张广才,周科,鲁芬,等.燃煤机组深度调峰技术探讨[J].热力发电,2017,46(9):17-23.
- [6] 顾煜炯,徐婧,李倩倩,等.燃煤发电机组调峰能力模糊综合评估方法[J].热力发电,2017,46(2):15-21.
- [7] 邹兰青.规模风电并网条件下火电机组深度调峰多角度经济性分析[D].北京:华北电力大学,2017.
- [8] 谢冰瑶.1000MW超超临界塔式褐煤锅炉炉内燃烧过程的数值研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [9] 蔡晓辉.600MW超临界锅炉炉内燃烧过程数值模拟[D].保定:华北电力大学,2010.
- [10] 申春梅.1000MW单炉膛双切圆锅炉炉内燃烧过程的数值模拟[D].哈尔滨工业大学,2006.
- [11] 武进猛.1000MW超超临界锅炉炉内燃烧过程数值模拟[D].北京:华北电力大学,2011.
- [12] Maidanik M N, Verbovetskii E K, Dektarev A A, et al. Mathematical simulation of the furnace and turning gas conduit of a P-50R boiler during joint combustion of solid and gaseous fuel[J]. Thermal Engineering, 2011, 58(6): 483-488.
- [13] 方庆艳,汪华剑,陈刚,等.超超临界锅炉磨煤机组合运行方式优化数值模拟[J].中国电机工程学报,2011,31(5):1-6.
- [14] 丘全科.1000MW超临界塔式锅炉传热模拟[D].北京:清华大学,2016.
- [15] Senior C L, Srinivasachar S. Viscosity of ash particles in combustion systems for prediction of particle sticking[J]. Energy and Fuels, 1995, 9(2): 209.

- [16] Wieslaw Z, Marzena N O. A new 1D/3D model of conjugate heat transfer in water wall tubes of power boiler combustion chamber[J]. *Procedia Engineering*, 2016(157): 200-206.
- [17] Vuthaluru R, Vuthaluru H B. Modelling of a wall fired furnace for different operating conditions using FLUENT[J]. *Fuel Processing Technology*, 2006, 87(7): 633-639.
- [18] Wang S Y, Yang D, Liu D, et al. Experimental and theoretical analysis on the safety and efficiency of an ultra-supercritical pulverized coal-fired boiler with low mass flux vertical water wall[J]. *Applied Thermal Energy*, 2019(146): 440-449.
- [19] Wang S Y, Yang D, Zhao Y J, et al. Heat transfer characteristics of spiral water wall tube in a 1000 MW ultra-supercritical boiler with wide operating load mode[J]. *Applied Thermal Energy*, 2018(130): 501-514.
- [20] Schuhbauer C, Angerer M, Spliethoff H, et al. Coupled simulation of a tangentially hard coal fired 700°C boiler[J]. *Fuel*, 2014(122): 149-163.
- [21] Drosatos P, Nikolopoulos N, Agraniotis M, et al. Decoupled CFD simulation of furnace and heat exchangers in a lignite utility boiler[J]. *Fuel*, 2014, 117(Part A): 633-648.
- [22] 国建刚, 孙宏, 孙冠男, 等. 超(超)临界锅炉与亚临界锅炉热控设计的区别[J]. *电站系统工程*, 2012, 28(5): 60-62, 64.
- [23] 岑可法. 高等燃烧学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2002.
- [24] Baum M M, Street P J. Predicting the combustion behaviour of coal particles[J]. *Combustion Science and Technology*, 1971, 3(5): 231-43.
- [25] Field M A. Rate of combustion of size-graded fractions of char from a low-rank coal between 1200K and 2000K[J]. *Combust Flame*, 1969, 13(3): 237-52.
- [26] Magnussen B F, Hjertager B H. On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion[J]. *Symposium (International) on Combustion*, 1977, 16(1): 719-729.
- [27] 叶新涛. 浓淡旋流煤粉燃烧器的数值模拟与改进[D]. 郑州: 郑州大学, 2009.
- [28] 卢欢, 杨冬, 周旭, 等. 超临界直流锅炉水冷壁压降及出口汽温计算[J]. *西安交通大学学报*, 2011, 45(1): 38-42.
- [29] 王为术, 徐维晖, 李帅帅, 等. 1000MW超超临界锅炉高热负荷区垂直水冷壁温度特性研究[J]. *电站系统工程*, 2011, 27(6): 9-12.
- [30] 何洪浩, 李文军, 曾俊, 等. 超超临界直流锅炉垂直管屏水冷壁壁温分布特性[J]. *动力工程学报*, 2017, 37(4): 257-260, 292.
- [31] Chu Y, Lou C, Cheng Q, et al. Distributed parameter modeling and simulation for the evaporation system of a controlled circulation boiler based on 3-D combustion monitoring[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2008, 28(2/3): 164-177.

收稿日期: 2019-04-11。

作者简介:



石楚

石楚(1991), 女, 硕士研究生, 研究方向为锅炉耦合传热, 810566409@qq.com。

(责任编辑 车德竞)