

使用不同燃烧器对火筒式加热炉的影响分析

韩守鹏¹, 廖晓炜², 黎亚洲², 徐洪涛¹

(1. 上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093; 2. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

摘要: 利用实验和数值模拟方法, 分析了两种不同燃烧器对油田用火筒式加热炉内部温度场、流场以及燃烧过程中 NO_x (氮氧化物) 生成情况的影响。两种燃烧器功率均为 700 kW, 通过实验测量和数值模拟得到以下结论: 在相同的功率情况下, 采用强制鼓风式燃烧器的加热炉内具有更高的平均温度; 大气式燃烧器产生的火焰偏斜严重, 炉顶部容易受到烟气冲刷而产生高温区域, 炉底部烟气流量较小温度较低, 换热条件较差; 大气式燃烧器和强制鼓风式燃烧器在加热炉内燃烧所排放的烟气中 NO_x 质量—体积浓度差别较小, 分别为 118.3 和 108.1 mg/m^3 。

关键词: 燃烧器; 加热炉; 数值模拟

中图分类号: TK229.7 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.10.008

引言

油田用加热炉是石油生产和运输过程中广泛使用的加热设备, 其作用是使原油在储运过程中保持一定的温度不致发生凝结。其工作原理是使被加热介质在密闭的容器、受热炉管或盘管内流动, 燃料燃烧产生的高温烟气, 以辐射或对流方式把热量传给受热面, 使介质获得热量^[1]。加热炉按其结构形式分为火筒式、管式、水套和相变加热炉。其中火筒式加热炉具有结构简单、制造容易和使用方便等优点而被油田广泛采用。为了获得加热炉内均匀一致的温度, 加热炉内的流场和温度场的分布成为众多研究者的研究对象。对于加热炉内温度场和流场的分布问题, 常规的研究方法是现场检测或者模型实验。但是, 现场检测方法容易受到加热炉操作条件的限制^[2~7]。而模型实验的方法可以从理论上说明问题, 比较准确, 但需建相似模型, 通过大量实验才能解决问题。

随着计算机应用技术的发展, 数值模拟正在逐步取代模型实验。数值模拟具有计算准确、实验参数修改及时、成本低、速度快等特点^[8~18]。董宇迪研究了新型远程无线控制器在油田加热炉燃烧器上的应用^[19]; 李秀英等在油田加热炉上采用全自动比例调节燃烧器^[20], 实现燃烧器的自动控制; 王怀彬等对油田用天然气加热炉进行了研究^[21], 改善燃烧器的结构, 提高燃烧效率。不同燃烧器对加热炉内部温度分布、流场分布和燃烧效率等有很大的关系。

目前不同燃烧器对油田加热炉影响对比的研究很少。通过研究对比两种燃烧器燃烧过程, 从而可以对两种燃烧器的优劣进行评判, 另外也对燃烧器以后的改进提供指导作用。因此, 本研究采用实验测量和数值模拟的方法, 对比研究两种不同燃烧器(大气式和强制鼓风式)对油田用火筒式加热炉内的热力学特征的影响。分析的热力学特征包括加热炉内部温度场、流场分布以及燃烧过程中 NO_x 的生成情况。

1 实验测试与物理模型

本次实验测试系统由火筒式加热炉、燃烧器和连接管道等组成如图 1 所示。实验测试在上海焱晶燃烧设备检测有限公司的实验室进行, 将燃烧器安装在加热炉上并连接上燃料管道组成整体实验装置。燃烧器安装在加热炉一端, 加热炉整体长度为 8 000 mm、内径为 800 mm、烟气出口直径为 500 mm。实验测试中采用的燃烧器分别为 SR-100 型大气式和 HQ-05 强制鼓风式, 这两种燃烧器均是大庆油田加热炉上的常用设备, 具有广泛的代表性。加热炉四周开孔, 用来放置热电偶和毕托管等测试

收稿日期: 2016-01-20; 修订日期: 2016-04-08

基金项目: 国家自然科学基金(No. 51276117), 质检公益性行业科研专项(No. 201310163)

作者简介: 韩守鹏(1992-), 男, 河南商丘人, 上海理工大学硕士研究生

通讯作者: 徐洪涛(1976-), 男, 上海理工大学副教授。

仪器。在尾部烟道出口,利用烟气分析仪分析燃烧烟气中的 NO_x 含量。加热炉开孔分布情况如图 2 (a) 所示,详细的实验系统请参照文献 [1],实验测试仪器如表 1 所示。

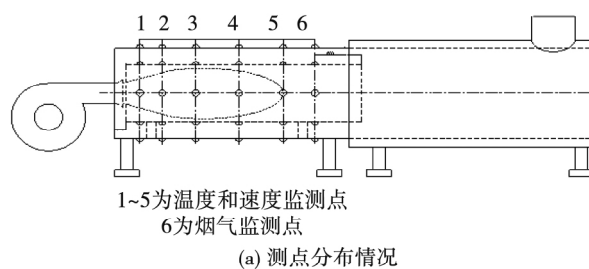


图 1 试验用加热炉图

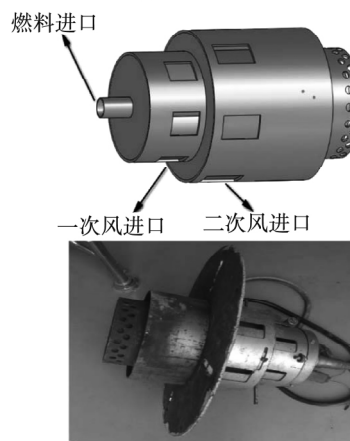
Fig. 1 Picture of heating furnace used in the experiment

本文主要利用数值模拟方法,分析采用两种不同燃烧器油田用火筒式加热炉内的温度场、速度场和 NO_x 生成情况并与实验数据进行对比验证。图 2 中给出了两种不同燃烧器的三维模型和实物图,为了保证数值模拟结果的准确,燃烧器的物理模型尺寸严格按照实物进行创建。从图 2 中可以看出两种燃烧器结构不相同,但都设置有燃料进口、一次风进口和二次风进口,如图 2(b) 和图 2(c) 所示。大气式燃烧器燃料进口面积为 $1\,480\text{ mm}^2$; 一次风口共有 6 个,每一个风口的面积都可以独立调节,一次风进口总面积为 $32\,166.72\text{ mm}^2$ 。二次风口也有 6 个风口,可以独立调节面积,二次风进口总面积为 $43\,152.72\text{ mm}^2$ 。燃料进入后被分成三股流体进入分流器喷射到加热炉内,空气由一二次风风口进入后经叶片扰流后与燃料混合。强制鼓风式燃烧器燃料进口面积为 $6\,597.34\text{ mm}^2$,一次风进口面积为 $1\,256.64\text{ mm}^2$,二次风进口面积为 $17\,592.92\text{ mm}^2$ 。燃料进入后经旋流片形成旋转射流,一次风直接进

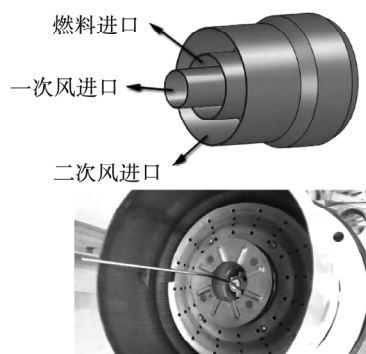
入,二次风经过多孔盘与燃料混合。



(a) 测点分布情况



(b) 大气式燃烧器物理模型和实物图



(c) 强制鼓风式燃烧器物理模型和实物图

图 2 试验器材物理模型和实物图

Fig. 2 Picture of experimental apparatus and the corresponding physical models

表 1 试验测试用仪表

Tab. 1 Instruments used in the test

仪器仪表	数量	规格型号	量程	精度	主要用途
热电偶	54	K 型、E 型	$0 \sim 1\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	测量火筒和辐射管壁面温度
数字显示表	2	TM-902C	$-50 \sim 1\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5\text{ FS}$	显示热电偶测量温度
气体流量计	1	IRM-AG650	$6 \sim 1\,000\text{ m}^3/\text{h}$	0.5 级	监测燃气流量
压力表	2	Y-60	$0 \sim 0.16\text{ MPa}$	$\pm 1.5\text{ FS}$	监测燃气压力
超声波流量计	1	FSC S10C1	—	1 级	监测循环水流量
可燃气体检测仪	2	XP-3140	$0 \sim 100\text{ LEF}$	$\pm 1.5\text{ LEF}$	监测可燃气体浓度

大气式燃烧器工作原理为:燃料以较高的速度从燃料入口进入燃烧器,在燃料喷口处形成一个负压区,由于加热炉内外压差的作用空气被从一次风和二次风口卷吸进入到加热炉内,从而与燃料混合后进行燃烧;强制鼓风式燃烧器工作原理为:燃料和空气分别通过燃料进口和空气进口被风机强制鼓入加热炉内混合燃烧。从出口布置来看,这两种不同的燃烧器对于进入炉内的燃料和空气的预混和流动状态的影响是不同的。

2 数值模拟

本文利用 CFD 软件 Fluent16.0 对油田用火筒式加热炉燃烧室内燃料与空气的燃烧过程^[22]进行了数值模拟分析,计算区域内流动、燃烧和传热过程采用连续性方程、动量方程、能量方程以及组分输运方程组来描述。实际加热炉内的燃烧过程都是湍流燃烧,且计算区域的传热主要是辐射方式,故上述方程组还需要湍流、燃烧以及辐射传热模型加以封闭^[23]。对于湍流扩散燃烧的数值模拟,采用简化的 PDF 快速反应扩散燃烧模型。燃料与氧化剂在同一时间不共存,但在有限反应区内其时均值可在同一位置共存。

由于采用两种不同的燃烧器,所以不同燃烧器具有不同的边界条件。对于大气式,有 1 个速度入口为燃料入口。大气式燃烧器所需空气由加热炉内外压差作用进入炉内,所以一次风入口和二次风入口为压力进口。对于强制鼓风式燃烧器,有 3 个速度入口分别为燃料入口、一次风入口和二次风入口。大气式燃烧器和强制鼓风式燃烧器都保持额定功率为 700 kW,天然气进口流量为 $67.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。烟气出口设置为压力出口,采用大气式燃烧器加热炉内为负压,烟气出口压力设为 -20 Pa 。加热炉壁面边界条件设置为恒温面,实验测量得到水冷壁面平均温度为 303 K 。燃料进口温度为 293 K ,空气进口温度为 298 K 。本次模拟为稳态,采用 SIMPLE 算法,燃烧模型选用非预混燃烧模型,辐射模型选用 DO 模型,湍流模型为 $k-\varepsilon$ 模型。

对油田用火筒式加热炉整体均采用 GAMBIT 软件进行网格划分,对燃烧器和加热炉壁面处采用了局部网格加密处理。大气式燃烧器整体网格总数约

为 600 万,强制鼓风式燃烧器整体网格数量约为 450 万。

3 结果分析与讨论

3.1 温度分布

采用两种不同燃烧器的火筒式加热炉内温度分布模拟情况如图 3 所示。两种燃烧器在加热炉内火焰中心最高温度分别为 $2\,091$ 和 $2\,113 \text{ K}$,强制鼓风式燃烧器火焰中心温度比大气式燃烧器火焰中心温度高了 22 K 。出现这种情况的原因是因为强制鼓风式燃烧器送入加热炉内空气采用过量空气系数 $\alpha = 1.115$,从而加热炉内部燃料完全燃烧使炉内温度稍高。从内部温度分布情况来看,大气式燃烧器加热炉内部温度分布不均匀,高温区主要集中在燃烧器出口附近,并且火焰偏斜严重,炉膛上部温度较高,容易导致炉内烧损等事故。强制鼓风式燃烧器炉内温度分布较均匀,除火焰中心外炉内温度保持在 $1\,200 \text{ K}$ 左右,火焰仅有少许偏斜,整体情况良好。

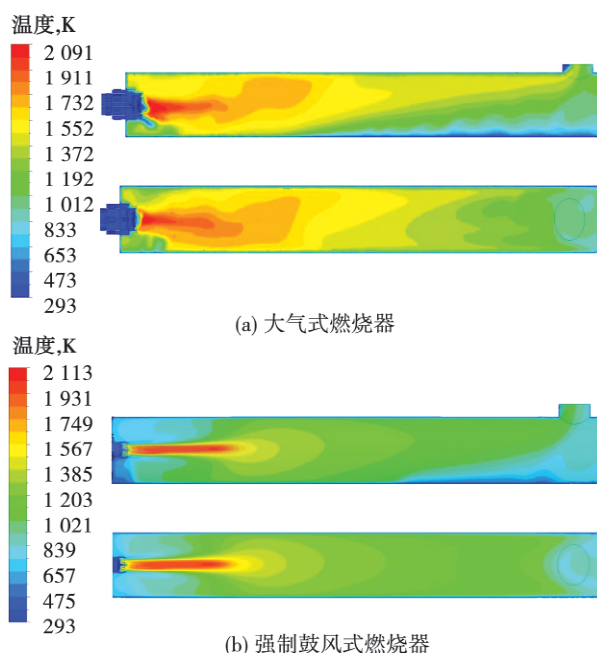


图 3 加热炉内温度分布图

Fig. 3 Contour of temperature distribution in heating furnace

图 4 中给出了设置在燃烧器出口处 5 个监测点的实验测量温度值与数值模拟得到的温度值的对

比,大气式燃烧器实验测量和模拟结果最大温度偏差值为 158.35 K,最大温度偏差为 10.1%,整体平均偏差为 6.8%。强制鼓风式燃烧器的实验测量和模拟结果最大温度偏差为 57.8 K,最大温差偏差为 6.7%,整体平均偏差为 4.8%。模拟结果和实际测量值基本吻合。

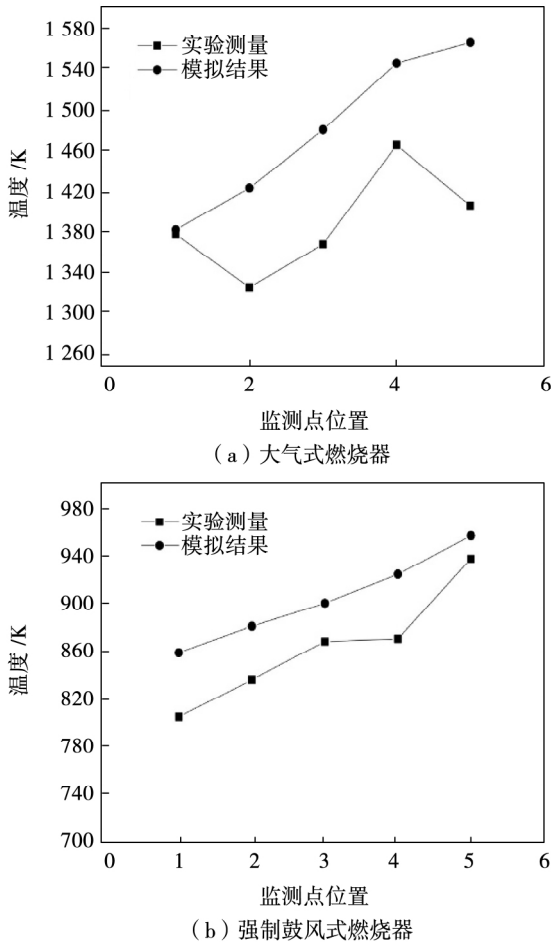


图4 炉内温度实验测量与模拟结果对比图

Fig. 4 Temperature comparison of experimental and simulation results in heating furnace

3.2 速度分布

图5和图6显示2个燃烧器对应的流场模拟结果。从图5中看出大气式燃烧器加热炉内部最高速度为 15 m/s,而强制鼓风式燃烧器加热炉内部最高速度为 25 m/s。从两种燃烧器都可以看出在靠近加热炉炉底地方速度较低,说明炉底位置烟气流动相对较慢。在靠近炉膛顶部区域烟气速度较快,由于大气式燃烧器火焰偏斜严重,因此炉膛顶部受到烟气冲刷情况较为严重。

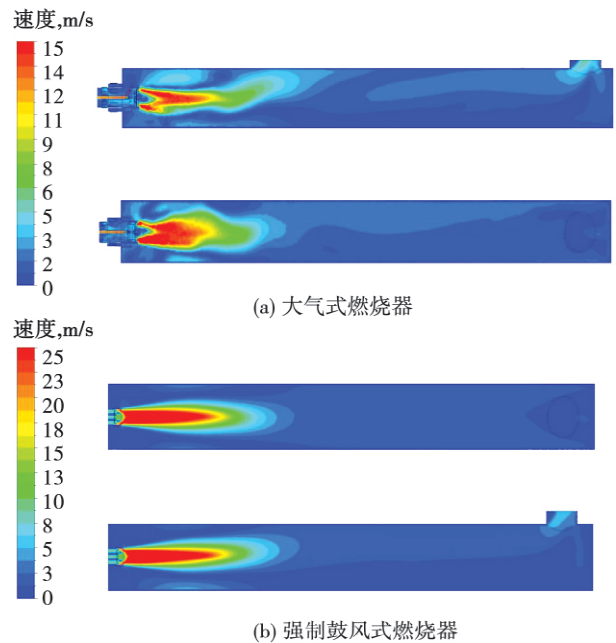


图5 加热炉内速度分布图

Fig. 5 Contour of velocity distribution in reheating furnace

从图6中我们可以看出,加热炉内部流场烟气流动主要分布在加热炉顶部。出现这种情况的原因是燃料燃烧产生的烟气密度较低,烟气向上流动导致加热炉顶部易遭到烟气的冲刷,更容易导致烧结和烧穿等事故。由于加热炉底部烟气流量较小,相对速度很低,所以加热炉底部对流换热条件较差。由于强制鼓风式燃烧器燃料和空气进口速度较高,所以在燃烧器出口处形成了一个“真空”地带,只有少量烟气进入并形成局部循环流动,该区域温度较低,不利于加热炉与外部换热。大气式燃烧器由于燃料和空气进口速度较低,在燃烧器出口处扰动更为强烈,导致高温区域主要分布在加热炉前部。

图7中给出了监测点速度测量值与模拟结果对比。从图中可以看出,模拟结果稍微高于实际测量值,但是总体趋势是一致的。大气式燃烧器实际测量速度值与数值模拟速度值最大偏差为 18.7%,整体平均偏差为 9.5%;强制鼓风式燃烧器速度最大偏差为 15.6%,整体平均偏差为 9.8%。实际测量速度与模拟结果误差较大的原因是燃烧器出口扰流严重,内部压差变化较快,导致整体误差较大。

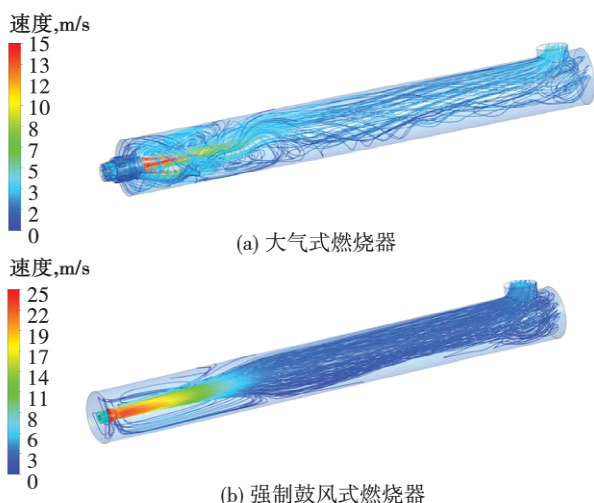


图 6 加热炉内流线分布图

Fig. 6 Streamline distribution in reheating furnace

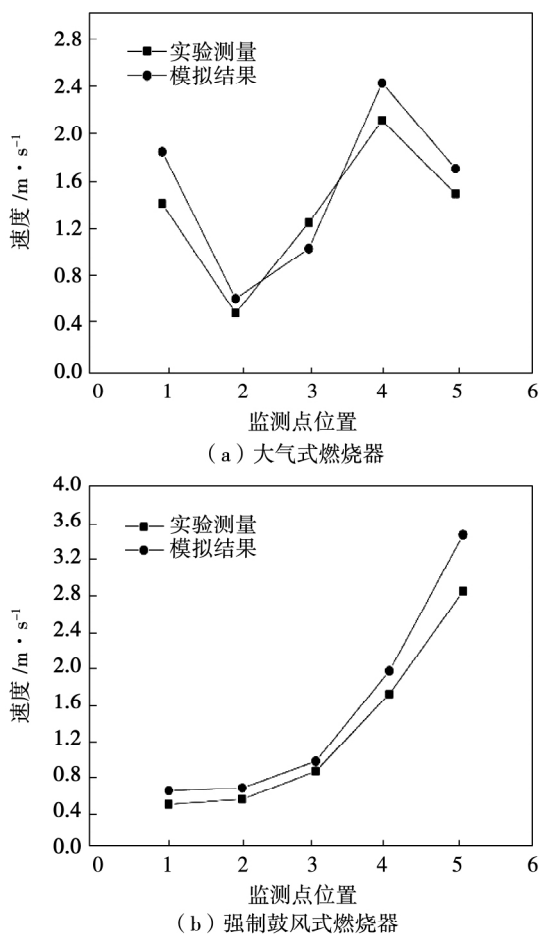
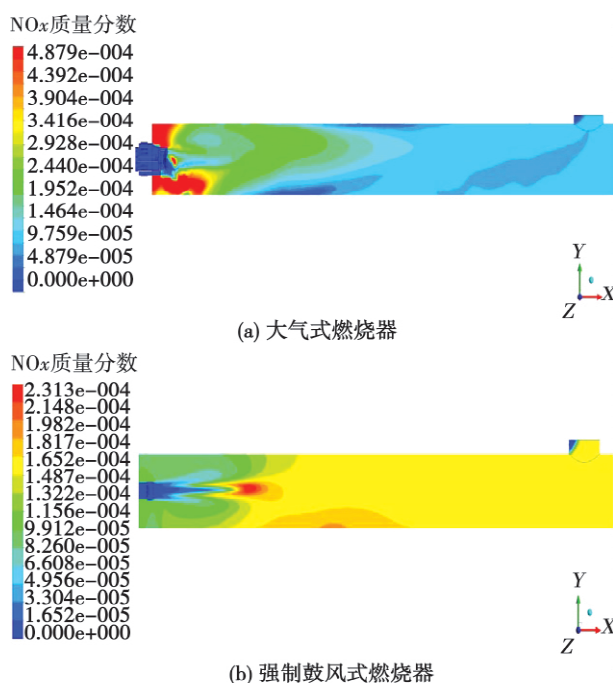


图 7 加热炉内速度值实验测量与模拟结果对比图

Fig. 7 Velocity comparison of experimental and simulated results in the heating furnace

3.3 加热炉内部 NO_x 生成

NO_x 的生成量与燃烧温度和氮的浓度等因素有关。从图 8 中我们可以看出,大气式燃烧器炉内产生 NO_x 的最大质量分数为 0.048 79%,而强制鼓风式燃烧器炉内产生 NO_x 的最大质量分数为 0.023 13%。对比最大质量分数的位置发现大气式燃烧器主要集中在加热炉前端,随着烟气向出口流动, NO_x 质量分数不断降低,到出口位置 NO_x 质量分数降低到 0.014 64% 左右。出现这种情况的原因是在燃烧器出口处扰动强烈温度很高, NO_x 生成量较大,随着烟气的流动温度不断降低,使 NO_x 生成量降低。强制鼓风式燃烧器炉内 NO_x 最大质量分数位于火焰尾部和加热炉下部,整个加热炉内部 NO_x 质量分数分布较均匀,出口位置 NO_x 质量分数为 0.015 12% 左右。对比这两种不同的燃烧器发现,采用大气式燃烧器的加热炉所产生的出口烟气中 NO_x 含量更少。

图 8 加热炉内 NO_x 质量分数分布图Fig. 8 NO_x mass fraction distribution in heating furnace

在实际测量中,大气式燃烧器在火焰尾部测得 NO_x 质量体积浓度为 121.6 mg/m^3 ,同样在这一点模拟结果得到 NO_x 质量—体积浓度为 118.3 mg/m^3 ;强制鼓风式燃烧器在火焰尾部测得 NO_x 质量体积浓度为 101.7 mg/m^3 ,这一点模拟结果得到 NO_x 质量—体积浓度为 108.1 mg/m^3 ,实际结果和模拟结果基本一致。

4 结 论

通过对采用两种不同燃烧器的加热炉内部温度场、速度场和 NO_x 质量分数进行实验和模拟对比分析,得到以下结论:

(1) 采用强制鼓风式燃烧器的油田用火筒式加热炉内最高温度高于大气式燃烧器。采用强制鼓风式燃烧器后,加热炉内部温度分布更均匀;

(2) 炉顶部烟气速度高于炉底部速度,烟气集中在炉顶部流动,炉顶受到烟气冲刷容易出现烧结和烧穿事故。大气式燃烧器相对较差;

(3) 大气式燃烧器和强制鼓风式燃烧器在加热炉炉内燃烧所排放的烟气中 NO_x 质量—体积浓度差别较小,分别为 118.3 和 108.1 mg/m^3 。

参考文献:

- [1] 吕 浩,单天禹,廖晓炜,等.辐射管对火筒温度均匀性的影响[J].热能动力工程,2015,04:617-622+656.
LV Hao,SHAN Tian-yu,LIAO Xiao-wei,et al. Radiation tube effect on the barrel temperature uniformity [J]. Journal of Thermal Power Engineering,2015,04: 617-622+656.
- [2] 张城伟,周长茂,王海波,等.圆筒式加热炉内辐射室燃烧数值模拟与分析[J].石油化工设备,2010,05:37-40.
ZHANG Cheng-wei,ZHOU Chang-mao,WANG Hai-bo,et al. Numerical simulation and analysis of radiation chamber combustion in a cylindrical heating furnace [J]. Journal of Petrochemical Equipment,2010,05:37-40.
- [3] 刘国伟,金宏达,董 芃,等.开式直筒辐射管用于油田加热炉[J].油气田地面工程,2010,06:36-38.
LIU Guo-wei,JIN Hong-da,DONG Peng,et al. The open cylindrical radiation tube for oil heating furnace [J]. Journal of Oil and Gas Field Surface Engineering,2010,06:36-38.
- [4] 杨 帆,李朝祥,郭 威,等.加热炉内流场的模拟与分析[J].工业炉,2005,04:6-8+16.
YANG Fan,LI Chao-xiang,GUO Wei,et al. Simulation and analysis of flow field in reheating furnace [J]. Journal of Industrial Furnace,2005,04:6-8+16.
- [5] 李义科,李保卫,任雁秋,等.加热炉热过程数学模型与燃烧过程计算机控制的研究[J].包头钢铁学院学报,2002,02:138-143.
LI Yi-ke,LI Bao-wei,REN Yan-qiu,et al. Study on the mathematical model and computer control of the thermal process of reheating furnace [J]. Journal of Baotou Iron and Steel Institute,2002,02:138-143.
- [6] 欧俭平,马爱纯,詹树华,等.换向方式对蓄热式加热炉热过程影响数值模拟[J].武汉理工大学学报,2007,04:68-71.
OU Jian-ping,MA Ai-chun,ZHAN Shu-hua,et al. Numerical simulation of the influence of the way of reversing mode on the thermal process of regenerative reheating furnace [J]. Journal of Wuhan University of Technology,2007,04:68-71.
- [7] 李永华,周滨选,郑平安.低 NO_x 旋流燃烧器改造数值模拟[J].动力工程学报,2014,04:260-266.
LI Yong-hua,ZHOU Bin-xuan,ZHENG Ping-an. Numerical simulation of low NO_x swirl burner [J]. Journal of Power Engineering,2014,04:260-266.
- [8] 包敦武,李彩霞,刘 伟.中板加热炉温度场计算机仿真研究[J].天津冶金,2003,02:3-6+49.
BAO Dun-wu,LI Cai-xia,LIU Wei. Computer simulation of temperature field in the medium plate reheating furnace [J]. Journal of Tianjin Metallurgical,2003,02:3-6+49.
- [9] 许 康,杨肖曦,王弥康,等.过剩空气系数对原油加热炉热效率的影响[J].油气储运,2000,12:51-53+57-7.
XU Kang,YANG Xiao-xi,WANG Mi-kang,et al. Effect of excess air coefficient on thermal efficiency of crude oil heating furnace [J]. Journal of Oil and Gas Storage and Transportation,2000,12:51-53+57-7.
- [10] 许望炎,张金东.连铸坯在加热炉内的温度场数值模拟[J].

- 塑性工程学报 2012 04: 74 - 79.
- XU Wang-yan ,ZHANG Jin-dong. Numerical simulation of temperature field in continuous casting billet in reheating furnace [J]. Journal of Plasticity Engineering 2012 04: 74 - 79.
- [11] 洪 流, 齐丽英, 苍大强, 等. 富氧技术在轧钢加热炉中氧化烧损和节能的试验研究[J]. 工业炉 2012 06: 1 - 4.
- HONG Liu ,QI Li-ying ,CANG Da-qiang ,et al. Experimental study of oxygen enriched oxidation technology in the reheating furnace burning and energy saving [J]. Journal of Industrial Furnaces 2012 06: 1 - 4.
- [12] 罗国民. 不同类型加热炉的蓄热式燃烧设计[J]. 工业炉 , 2008 03: 19 - 21.
- LUO Guo-min. Regenerative combustion design of different type of heating furnace [J]. Journal of Industrial Furnaces 2008 03: 19 - 21.
- [13] 李慧君, 贾宝桐. 配风方式对花瓣燃烧器出口流场影响的研究[J]. 动力工程学报 2015 05: 348 - 353.
- LI Hui-jun ,JIA Bao-tong. Study on the influence of the air distribution of the air distribution on the outlet flow field of the petal burner [J]. Journal of Power Engineering 2015 05: 348 - 353.
- [14] 孟 岚, 赵雪峰, 韦振光, 等. 油田加热炉的应用现状与提效技术方向[J]. 石油石化节能 2015 04: 33 - 35.
- MENG Lan ,ZHAO Xue-feng ,WEI Zhen-guang ,et al. Application status of oil field heating furnace and the direction of the technology [J]. Journal of Petroleum and Petrochemical Energy 2015 , 04: 33 - 35.
- [15] 汪建新, 胡依景, 吴启明. 加热炉辐射管的技术进化路线分析[J]. 金属热处理 2014 39(10) : 137 - 140.
- WANG Jian-xi ,HU Yi-jing ,WU Qi-ming. Analysis of technical evolution route of radiant tube in heating furnace [J]. Journal of Metal Heat Treatment 2014 39(10) : 137 - 140.
- [16] 金宏达, 刘国伟, 董 芃. 开式直筒辐射管燃气燃烧器的优化设计[J]. 哈尔滨工业大学学报 2010 42(5) : 763 - 765.
- JIN Hong-da ,LIU Guo-wei ,DONG Peng. Optimal design of gas burner for open tube radiant tube [J]. Journal of Harbin Institute of Technology 2010 42(5) : 763 - 765.
- [17] 周 托, 张忠孝, 乌晓江, 等. 气体再燃燃烧器喷口流动特性冷态实验研究[J]. 上海理工大学学报 2007 02: 137 - 141.
- ZHOU Tuo ,ZHANG Zhong-xiao ,WU Xiao-jiang ,et al. Experimental study on the flow characteristics of the nozzle flow characteristics of a gas re combustion burner [J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology. 2007 02: 137 - 141.
- [18] 郭 韵, 曹伟武, 严 平, 等. 天然气加热炉结构及其传热特性分析[J]. 上海理工大学学报 2009 03: 251 - 254.
- GUO Yun ,CAO Wei-wu ,YAN Ping ,et al. Structure and heat transfer characteristics of natural gas heating furnace [J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology. 2009 03: 251 - 254.
- [19] 董宇迪. 新型远程无线控制器在油田加热炉燃烧器上的应用[J]. 石油石化节能 2012 2(11) 24 - 27.
- DONG Yu-di. Application of a new type of remote wireless controller in oil field heating furnace burner [J]. Petroleum and Petrochemical Energy Saving 2012 2(11) 24 - 27.
- [20] 李秀英, 张 博, 李国义. 国产全自动比例调节燃烧器在油田加热炉上的推广应用[J]. 工业锅炉 2005 4(1) 35 - 36.
- LI Xiu-ying ,ZHANG Bo ,LI Guo-yi. Popularization and application of domestic full automatic proportion adjusting burner in oil field heating furnace [J]. Industrial Boiler 2005 4(1) 35 - 36.
- [21] 王怀彬, 黄 波. 油田加热炉天然气燃烧器研究[J]. 哈尔滨工业大学学报 1999 31(1) 133 - 136.
- WANG huai-bin ,HUANG Bo ,Research on natural gas burner of oil field heating furnace [J]. Journal of Harbin Institute of Technology . 1999 31(1) 133 - 136.
- [22] 李鹏飞, 徐敏义, 王飞飞. 精通 CFD 工程仿真与案例实战[M]. 北京: 人民邮电出版社 2014.
- LI Peng-fei ,XU Min-yi ,WANG Fei-fei. Proficient in CFD engineering simulation and actual cases [M]. Beijing: People Post Press 2014.
- [23] 韩占忠, 王 敬, 兰小平. Fluent 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社 2004.
- HAN Zhan-zhong ,WANG Jing ,LAN Xiao-ping. Fluent fluid engineering simulation examples and Application [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press. 2004.

(单丽华 编辑)

Detailed analysis indicates that the specific heat load of the boiler body ,steam water system and hot air system of the boiler system are relatively small ,and the heat loss is proportional to the area. But the heat dissipation of the heat insulating separator and the return system is 5 times the former ,with 16.2% of the area generating 47.6% of the heat dissipation. Therefore ,there is a large degree of system uncertainty on the method of estimating the heat loss of circulating fluidized bed boiler outlined by the current national standard and industry standard. **Key words:** circulating fluidized bed ,heat loss ,specific heat load ,uncertainty analysis

使用不同燃烧器对火筒式加热炉的影响分析 = **Effect of Different Burner on The Behaviors of Drum Type Heating Furnace** [刊 ,汉] HAN Shou-peng (University of Shanghai for Science and Technology ,Shanghai ,China , Post Code: 200093) ,LIAO Xiao-wei ,LI Ya-zhou (China Special Equipment Inspection and Research Institute , Beijing 100013) ,XU Hong-tao(University of Shanghai for Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Code: 200093) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(10) . -43 ~49

This paper adopts experimental and numerical methods to analyze the influence of two different burners on the temperature field ,flow field and nitrogen oxide generated during the process of combustion in drum type heating furnace. The input power of two burners is both set to be 700 KW and some conclusions are drawn as follows: The average temperature in the furnace generated by the forced air blast burner is higher than that by the atmospheric burner. The flame deflection by the atmospheric burner is worse than that by the forced air blast burner. The top of furnace is easy to be washed by the gas to generate a high-temperature region when the atmospheric burner is used. The gas flow at the bottom of the furnace is lower ,and the heat transfer condition is poor. The contents of NO_x in the flue gas from the combustion in the atmospheric burner and forced air blast burner are 0.01464% and 0.01512% ,respectively. **Key words:** burner ,heating furnace ,numerical simulation

抽汽加热暖风器系统机组能耗指标计算方法分析 = **Calculation of Coal Consumption Rate for Power Plant with Steam Turbine Extractions Heating Air Heater System** [刊 ,汉] DING Xing-wu (Huaneng Shandong Power Generation Co. ,Ltd. Jinan ,Shandong ,Post Code: 250002) ,FAN Qing-wei (Xi'an Thermal Power Research Institute Co. ,Ltd. Xi'an ,Shaanxi ,China ,Post Code: 710032) ,SU Yong-ning (Huaneng Laiwu Power Generation Co. ,Ltd. Laiwu ,Shandong ,China ,Post Code: 251100) ,XIE Tian (Xi'an Thermal Power Research Institute Co. , Ltd. Xi'an ,Shaanxi ,China ,Post Code: 710032) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(10) . -50 ~53

In this paper ,two different calculation methods for coal consumption rate of power plant with steam turbine extractions heating the air heater system are introduced in detail. By taking the turbine heat consumption rate together with the boiler's net efficiency η_1 and fuel efficiency η_2 respectively to the common formula for calculating the coal consumption rate ,the results are different. Using the boiler's net efficiency yields higher coal consumption rate due to $\eta_2 > \eta_1$. In this case ,a correction formula to consider the air heater's energy that affects the fuel consumption is necessary to obtain the correct result. When using the boiler's fuel efficiency to calculate the coal consumption rate ,there is no need to correct the result. Therefore ,we suggest using the boiler's fuel efficiency to calculate the coal