基于 CFD 模拟的蓄热式加热炉燃烧优化研究

郑 帅[1,2], 李义科[1]

(1. 内蒙古科技大学能源与环境学院, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 当前蓄热式加热炉普遍存在的火焰刚性偏弱及火焰不稳定等特点, 为了优化加热炉的燃烧工况, 文章通过仿真软件对蓄热式加热炉进行网格划分建立模型, 充分对炉内燃烧状况进行分析研究, 从而得出蓄热式加热炉的最优化参数。

关键词: 仿真; 流场; 模型; 监测

中图分类号: TG307 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2017)03 - 0070 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.03.020

Study on Combustion Optimization of Regenerative Heating Furnace Based on CFD Simulation

ZHENG Shuai[1,2], *LI Yi - ke*[1]

(1. *School of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The characteristics of flame rigidity weak and flame instability are generally existed in regenerative heating furnace. In order to optimize the combustion condition of heating furnace, in the paper, the model of regenerative heating furnace is established by mesh generation of simulation software. The combustion condition in the furnace is analyzed and studied, and the most optimized parameters of regenerative heating furnace are obtained.

Key words: simulation; flow field; model; monitoring

随着电子计算机技术、流体力学和传热学的发展, 数值模拟成为目前研究和分析加热炉炉内工况的主要方法与手段之一。目前蓄热式加热炉普遍存在着火焰刚性偏弱、火焰不稳定等问题[1], 下面通过仿真软件对烧嘴及炉膛进行模拟分析。

1 仿真模拟前提及条件

1.1 蓄热式燃烧器的网格划分和边界条件

采用 gambit 软件对蓄热式加热炉进行网格划分, 划分区域包括烧嘴喷口和炉膛。烧嘴喷口附近区域及烟气出口区域由于结构复杂, 在烧嘴位置对网格进行局部加密[2], 计算时蓄热式燃烧器网格单元格长度为 10 mm, 炉膛区域网格单元格长度为 50 mm, 过渡区域网格单元格长度为 30 mm, 网格总数为 30 万个。

空煤气入口速度根据气体流量和面积来进行计算; 烟气出口为负压排烟压力为 - 2 000 ~

收稿日期: 2017 - 05 - 05

作者简介: 郑 帅(1984 -), 男, 河北省望都县人, 在读硕士, 工程师, 现从事于热轧生产技术、管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

-1 000 Pa; 烧嘴内壁设置为绝热; 炉顶和侧墙考虑自然对流换热,内壁发射率按 0.85 计算; 钢坯吸热为定壁温,设定出炉温度为 1 250 ℃,钢坯表面发射率也按 0.85 考虑[3]。

1.2　蓄热式燃烧器的参数设定

蓄热式燃烧器以高炉煤气作为燃料,燃料特性及燃烧器参数如表 1 和表 2 所示。

表 1　高炉煤气特性

项目	数值
CO 含量/%	22
H_2 含量/%	1
N_2 含量/%	77
热值/(kJ·m^{-3})	2 930.76
理论空燃比	0.565

表 2　蓄热式燃烧器设计参数

项目	数值
煤气流量/(m^3·h^{-1})	1 000
空气流量/(m^3·h^{-1})	600
煤气蓄热温度/℃	1 000
空气蓄热温度/℃	1 000
空煤气流速/(m·s^{-1})	10~50

2　燃烧工况仿真模拟分析

2.1　不同气体喷口角度仿真分析

空、煤气的喷口角度对蓄热式燃烧器的火焰有非常重要的影响,本文从蓄热式烧嘴的应用特点出发设计了不同的喷口角度,如图 1 所示,α 为煤气喷口角度,β 为空气喷口角度。本文设计了 α 和 β 分别在 0°、10°、20°和 30°之间变化,分别仿真对比不同角度下的蓄热式燃烧器的燃烧和传热特性[4]。

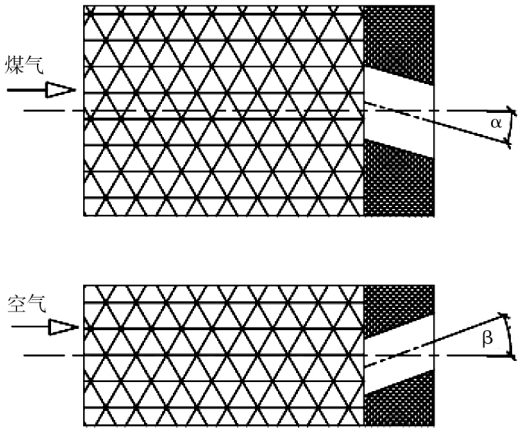
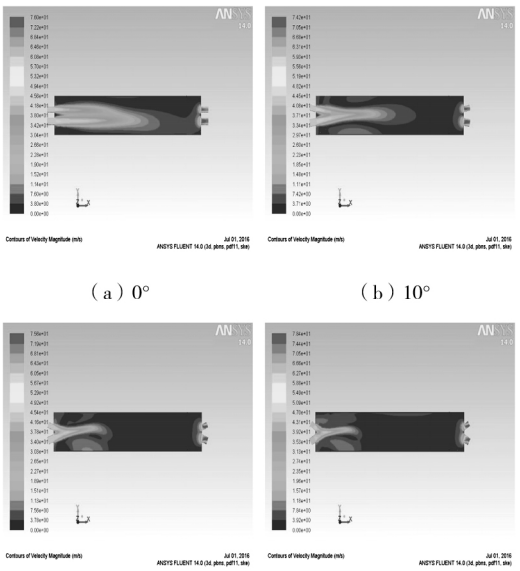


图 1　蓄热式燃烧器喷口角度布置

2.1.1　流场分析

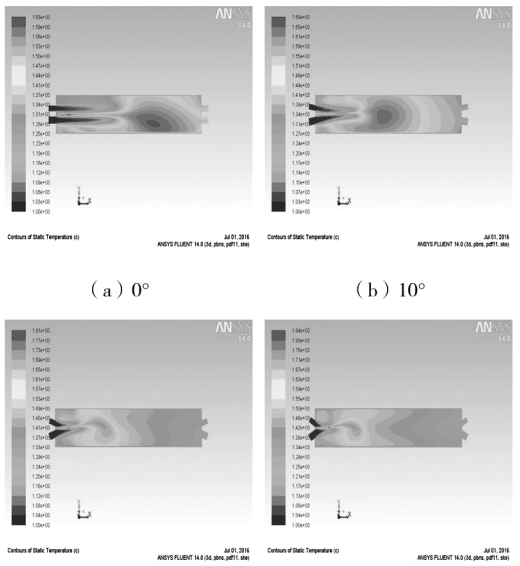
4 个角度下的蓄热式加热炉速度云图如图 2 所示。当空、煤气的角度为 0°时,空、煤气气流行程较长,基本流到了炉膛中后半段; 当角度为 10°时,气流在喷口后约 300 mm 左右开始相交,气流到了炉膛中心线附件速度衰减到较低流速; 当喷口角度增加到 20°和 30°时,空、煤气在喷口附近急剧相交碰撞,流速迅速衰减,说明大部分动量由于气流碰撞而损失。



(a) 0°　(b) 10°　(c) 20°　(d) 30°

图 2　不同气体喷口角度下的速度云图

4 个角度下的温度云图如图 3 所示。



(a) 0°　(b) 10°　(c) 20°　(d) 30°

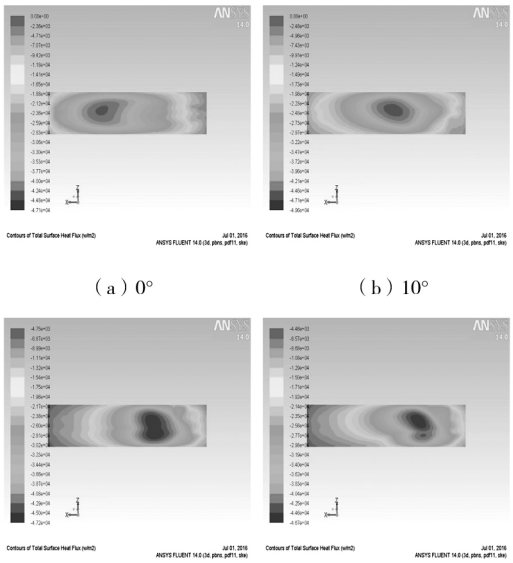
图 3　不同气体喷口角度下的温度云图

中国知网　https://www.cnki.net

当气流角度为0°时，空、煤气主要集中在后半段炉膛内燃烧，并且出口处还有大量的高温烟气，说明烟气未完成有效换热就流出了炉膛；当角度增加至10°时，气流的高温区域在炉膛中心线的位置，高温区域的面积比较大，温度整体也比较均匀。当增加至20°和30°时火焰变得很短，基本在1/3炉长位置处达到了最高温度，高温区非常集中。这样会导致高温区集中在烧嘴出口处，造成钢坯加热不均匀。

2.1.2 传热分析

4个角度下的炉底钢坯热流密度分布如图4所示。0°时热流密度最大的区域在炉长3/4的位置，烧嘴出口附近很长一段区域内热流密度较低，当角度增加至10°时，热流密度最大区域在1/2炉长的位置，热流密度整体比较均匀，钢坯头部的低热流区较小。再逐渐增加到20°和30°时，高热流区域逐渐向钢坯头部移动，并且热流密度越来越集中，极容易形成过烧。



（a）0° （b）10°

（c）20° （d）30°

图4 不同气体喷口角度下炉底钢坯热流密度分布云图

综合以上分析：0°的火焰太长，在烟气出口处还有较高温度未能充分换热；20°和30°的火焰较短，高温区集中在炉膛前半段，会造成钢坯头部温度过高；10°的火焰高温区在炉膛中心的位置，整体热流密度分布较均匀，能够达到很好的加热效果。

2.2 不同喷口流速仿真分析

空、煤气的喷口流速是燃烧器设计中最重要的指标之一。本文结合钢厂的风机和煤气站压力现状，以喷口角度10°作为烧嘴结构的基础，选取空、煤气流速分别在5 m/s、10 m/s、20 m/s、30 m/s作为流速的取值范围。具体如图5所示，为了保证炉压的稳定性，仿真时，空、煤气流速取值一致。

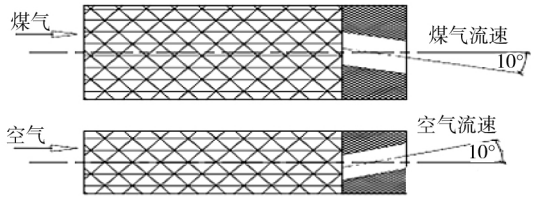
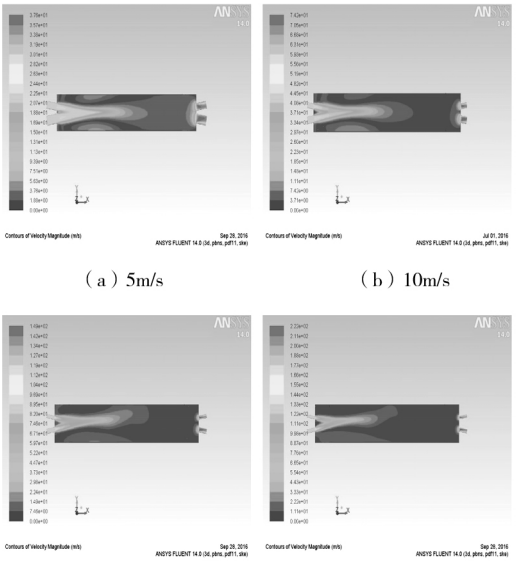


图5 蓄热式燃烧器不同气体流速取值

2.2.1 流场分析

不同气体流速下的蓄热式燃烧器速度云图如图6所示。4种速度下的流速分布总体相似，但由于最高流速不一致，在1/3炉长处4种速度下的混合气流速度大约为20 m/s、37 m/s、60 m/s和80 m/s，随着气体流速的升高，炉内气体的流速也升高。



（a）5m/s （b）10m/s

（c）20m/s （d）30m/s

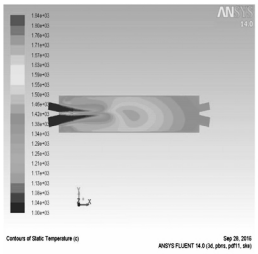
图6 不同流速下的速度云图

2.2.2 燃烧及温度场分析

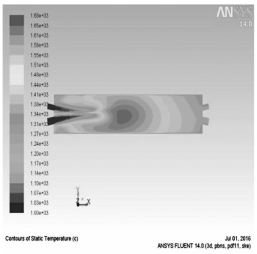
不同气体流速下的燃烧温度场分布如图7所示，当流速为5 m/s时，高温区集中在炉膛中间，烧嘴根部有明显的低温区，这是由于空、煤气混合较慢，大部分气体要到炉膛中间才充分混合；当流速增加至10 m/s时，燃烧高温区位置提前，烧嘴根部有一部分煤气回卷燃烧，高温覆盖区域位于炉膛中间的位置；当气流速度增加至20 m/s和30 m/s时，高

中国知网 https://www.cnki.net

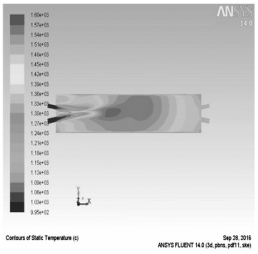
温覆盖区越来越大，燃烧高温烟气与炉内烟气较好地混合，炉温均匀性增加。



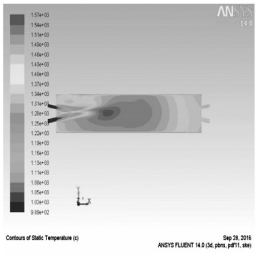
（a）5 m/s



（b）10 m/s



（c）20 m/s

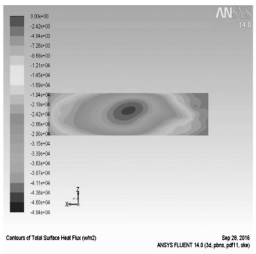


（d）30 m/s

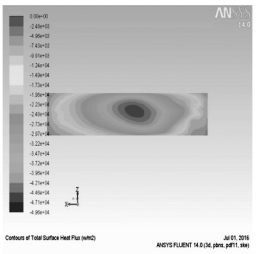
图 7　不同流速下的温度云图

2.2.3　传热分析

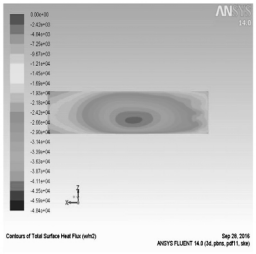
4 种流速下的炉底钢坯热流密度如图 8 所示，可以看出各流速下的热流密度最高区域基本都位于炉膛中心线上，但低流速时高热流区域比较集中，随着流速的增加，热流密度逐渐趋于均匀。



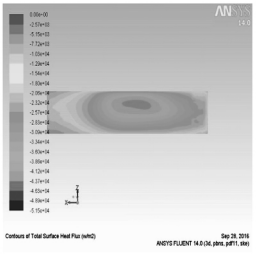
（a）5 m/s



（b）10 m/s



（c）20 m/s



（d）30 m/s

图 8　不同流速下的热流分布

2.3　压力可行性分析

烧嘴喷口流速还受限于钢厂煤气站压力和风机的选型，不同流速下的烧嘴压力损失如表 3 所示，在 4 种流速下烧嘴总压损分别为 2.2 kPa、3 kPa、5.9 kPa、10.7 kPa，从一般的风机和煤气站配置来看，风机出口和煤气总管出口处的静压约 10 ~ 12 kPa，空、煤气通过各级阀门、流量孔板、管道弯头等后达到烧嘴前的压力大约为 7 ~ 8 kPa，因此流速的选择应该控制在 20 Nm/s 以下，流速选择太高时烧嘴换向时炉压波动较大，不利于炉压控制，给现场操作带来很多困难。

表 3　不同流速下的烧嘴压力损失

流速 /(m·s^{-1})	喷口压损/kPa	蓄热体压损/kPa	烧嘴总压损/kPa
5	0.2	2	2.2
10	1	2	3
20	3.9	2	5.9
30	8.7	2	10.7

3　结论

（1）对于 0°、10°、20°、30°4 个角度，10°是最优值，火焰高温区在炉膛中心的位置，整体热流密度分布较均匀，火焰形状较好；

（2）对于 5 m/s、10 m/s、20 m/s、30 m/s 4 种速度的结构，随着流速的增加，火焰的高温覆盖预热越来越大，整个炉膛内的烟气温度也越来越均匀；

（3）综合考虑到钢厂助燃风机和加压站实际情况以及不同流速下的烧嘴压力损失对空、煤气压力进行可行性分析得出，空、煤气流速最好选择在 10 ~ 20 m/s之间，10° 的火焰使整体热流密度分布较均匀，钢坯能够得到很好的加热效果。

参　考　文　献

[1] 卫恩泽，彭燕华. 板坯加热炉控制技术现状和发展[J]. 钢铁技术，2010，(3)：32 - 40.

[2] 汪天友. 蓄热式加热炉内 NOx 生成的数值模拟[J]. 现代机械，2009，(4)：12 - 16.

[3] 李顺，于宏. 蓄热式加热炉内 NOx 生成的数值模拟[C]. 全国能源与热工 2016 学术年会，张家界：2006.

[4] 丁尚辉，李顺. 空气射流夹角对蓄热式加热炉内 NOx 生成的影响[J]. 冶金能源，2006，25(5)：12 - 17.

中国知网　https://www.cnki.net