

文章编号: CN23 - 1249 (2009) 02 - 0032 - 04

余热锅炉增设放散烟道后的传热数值计算

杨杰程¹, 陈恩鉴², 程 珩², 魏小林¹, 余立新¹, 张 宇¹

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100190; 2 北京世纪源博科技有限责任公司, 北京 100036)

摘 要: 利用余热锅炉回收废气余热是企业节能的重要一环。但在对余热锅炉进行检修的时候废气却仍然持续进入锅炉, 这给余热锅炉的检修带来了困难。设置放散烟道可以阻隔废气持续进入锅炉, 同时也有助于锅炉自身热气的排放。利用计算流体力学的方法对余热锅炉增设放散烟道后的传热进行了数值模拟。结果表明, 在总烟管道设置放散烟道同时配合在锅炉底部增加鼓风机的方法能有效降低锅炉内部的温度, 提高了锅炉检修的效率, 保障了检修人员的安全。

关键词: 余热锅炉; 放散烟道; 传热; 数值模拟

中图分类号: TK229.92+9 **文献标识码:** A

Simulation of Heat Transfer of Heat Recovery Boiler with Additional Out Vents

Yang Jiecheng¹, Chen Enjian², Cheng Heng², Wei Xiaolin¹, Yu Lixin¹, Zhang Yu¹

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 Beijing Centuryuanbo R&D Co. Ltd, Beijing 100036, China)

Abstract: Recycling of recoverable heat by heat recovery boiler is an important way to reduce the energy loss. However, it is difficult to do the routine maintain for the boiler because the waste heat flow into the boiler continuously. Setting additional out vents can not only obstruct the exhaust gas from entering the boiler but also contribute to the cooling of the boiler. CFD method has been used to simulate the heat transfer process inside the boiler with additional out vents. The results show that setting additional out vents onto the intake pipe of the boiler and meanwhile setting an air blowing beneath the boiler can effectively cool down the boiler. This method can improve the efficiency of the boiler maintenance, as well as ensure the security of the workers.

Key words: heat recovery boiler; additional out vent; heat transfer; numerical simulation

0 引 言

利用余热锅炉回收废气余热资源, 不仅有设备易于布置、对原有工艺过程影响较小、运行可靠性较高的优点, 而且所产出的蒸汽可以方便、高效

地回用, 从而收到显著提升技术经济指标的效果, 因而被各企业广泛运用^[1-3]。但同时余热锅炉也面临着一些问题, 例如当需要检测维修余热锅炉时, 由于不断有废气进入锅炉, 所以锅炉无法自然冷却, 这是余热锅炉的一个特点, 由此造成工程人

收稿日期: 2008 - 12 - 06

作者简介: 杨杰程 (1984 -), 男, 汉族, 云南曲靖人, 中国科学院力学研究所硕士研究生。

员长时间无法进入余热锅炉内部进行检测维修工作。另外,如果在工程人员维修期间有热气进入锅炉,将会对工程人员造成人身伤害,这是必须避免的。针对以上两点,本文提出了一些在余热锅炉需要进行检测维修时加快其散热速度并保持内部温度稳定的改造方法,并采用数值模拟的方法评价其效果,对实际余热锅炉的改造具有一定指导意义。

1 工程背景与数值计算

1.1 工程背景

某企业生产所产生的高温烟气经两个烟气进烟管道汇入总烟管道然后引入余热锅炉,产生蒸汽用于发电。烟气经余热锅炉梯级利用后,锅炉排烟经后续管道、引风机、烟囱排入大气。余热锅炉系统图如图 1 所示。

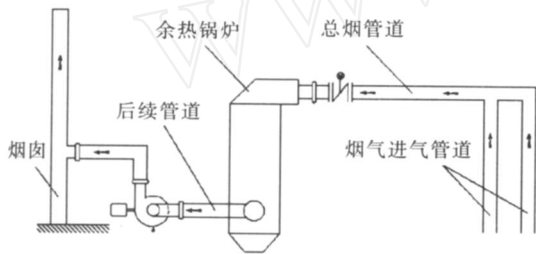


图 1 余热锅炉系统图

1.2 控制方程

由于余热锅炉内气体流动基本呈各向同性,无强旋流,故可选用标准 k -湍流模型模拟其流场。当流动为定常、不可压缩流动,且忽略自定义源项时,相应的控制方程为:

连续性方程:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i) = 0$$

动量方程:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right]$$

能量方程:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\partial T}{\partial x_j} - \overline{u_i T} \right]$$

湍动能 k 方程:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (k u_i) = -\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k -$$

湍流耗散率 方程:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{k} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] +$$

$$C_1 \frac{G_k}{k} - C_2 \frac{\epsilon^2}{k}$$

其中, $\mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$, $G_k = \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ 。

式中: u_i 、 u_j 是时均速度; u'_i 、 u'_j 是脉动速度; ρ 是流体密度; p 是压强; T 是温度; α 是热扩散系数; μ 是动力粘度; μ_t 是湍动粘度; G_k 是由于平均速度梯度而引发的湍流动能 k 的产生项。

根据 Launder 等的推荐值及后来的实验验证,其余模型常数的取值为: $C_1 = 1.44$, $C_2 = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\epsilon = 1.3^{[4]}$ 。

1.3 计算模型及网格划分

根据余热锅炉系统图把系统简化为下面的三维模型。取整个系统为计算域。采用四面体网格对整个计算域进行了网格划分,共有约 15 万个单元网格,如图 2 所示。两个烟气进烟管进口设置为温度 653 K 的吸气孔,烟囱出口设置为温度 300 K 的排气孔,其他边界都设为壁面条件。

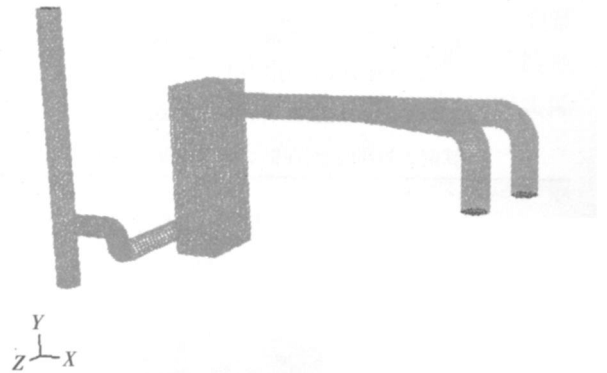


图 2 三维计算模型网格划分

1.4 数值解法

采用稳态计算,通过有限体积法对计算区域进行离散,对流项的离散采用一阶迎风格式,压力插值的方式采用标准格式,压力速度耦合的方式采用 SIMPLE 格式,湍流模型采用标准 k -模型,近壁区内采用壁面函数法。能量收敛条件设为 10^{-6} ,其他收敛条件设为 10^{-3} 。

2 模拟结果

为了方便叙述,将各算例说明列于表 1。各算例模型均在图 2 计算模型的基础上进行了相应的改造。

2.1 在总烟管道上开设放散烟道

余热锅炉无法自然冷却的一个主要原因是废气持续地进入余热锅炉,而在余热锅炉总烟管

道上开设放散烟道则可以有效地排放从烟气进气管道进入的废气。因此,在原始余热锅炉系统基础上,在余热锅炉总烟管道上开设一个直径 2 m 高 5 m 的放散烟道(图 3),模拟结果如下所示。从结果可以看出,锅炉主体仍然保持较高的温度。而把放散烟道数提高为两个后(图 4),锅炉中下部及后续管道温度有一定程度的下降,但锅炉整体散热效果没有明显提升。这表明在余热锅炉总烟管道上方开设放散烟道的方法对于余热锅炉整体的散热没有明显效果。但在余热锅炉总烟管道上所开设的放散烟道起到了排放从烟气进气管道持续进入的废气的作用,避免了废气持续进入余热,从而有利于锅炉温度的降低。

表 1 各算例说明表

算例编号	算例改造描述
1	在总烟管道上开设一个直径 2 m 高 5 m 的放散烟道
2	在总烟管道上开设两个直径 2 m 高 5 m 的放散烟道
3	在锅炉后续管道上增加两个夹角为 30 直径为 1 m 的进气口
4	算例 2 的基础上,在锅炉后续管道上增加两个夹角为 30 直径为 1 m 的进气口
5	算例 4 的基础上,在锅炉下部增加鼓风机
6	算例 2 的基础上,在锅炉下部增加鼓风机

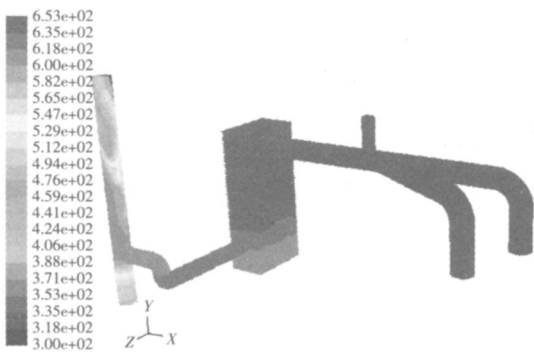


图 3 算例 1 温度分布

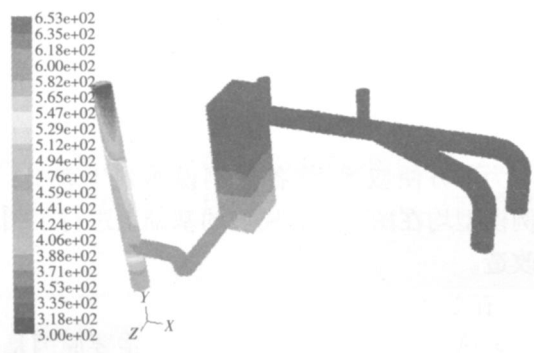


图 4 算例 2 温度分布

2.2 在锅炉后续管道增加进气口

从算例 3 和算例 4 可以看出,在余热锅炉总烟管道上方开设放散烟道可以有效排放从烟气进气管道持续进入的热气,但对于原本温度较高的锅炉主体,所开设的放散烟道没有对其产生较好的散热效果。因此,在原始余热锅炉系统基础上,在余热锅炉的后续管道上增加两个夹角为 30° 直径为 1 m 的进气口,用于加快锅炉的散热。从模拟结果可以看出,若只采用在锅炉后续管道增加两个进气口的方法(图 5),锅炉下部温度有了明显降低;若采用在锅炉后续管道增加两个进气口同时配合在总烟管道上方开设两个直径 2 m、高 5 m 的放散烟道的方法(图 6),则锅炉整体温度都有了明显的降低。这表明在锅炉后续管道增加进气口的方法对于锅炉散热具有明显效果。但在余热锅炉的上部仍然存在一个温度较高区域。

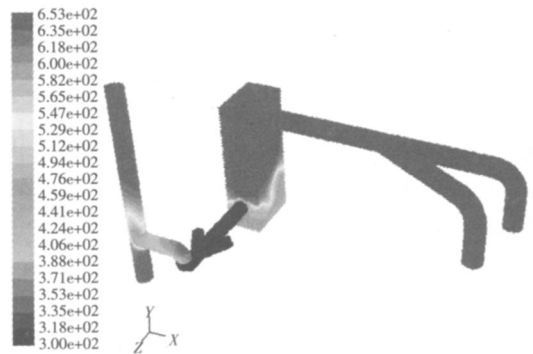


图 5 算例 3 温度分布

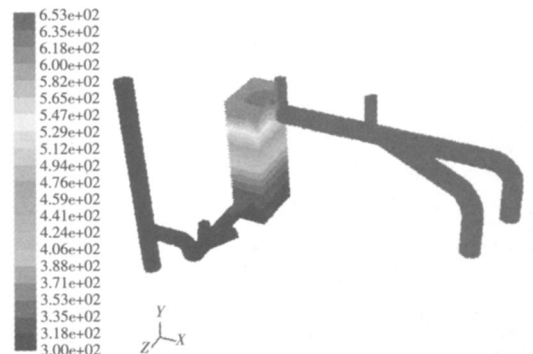


图 6 算例 4 温度分布

2.3 锅炉下部增加鼓风机

为模拟实际情况中锅炉下部增加鼓风机的情况,在原始余热锅炉系统基础上,在锅炉底部增开一个 1 m × 1 m 的小孔,将其设置为进气速度为 10 m/s 的速度进口,若配合在总烟管道上方开设两个直径 2 m 高 5 m 的放散烟道以及在锅炉后续管道增加两个夹角为 30° 直径为 1 m 的进气口的

方法(图 7),锅炉整体温度都有了明显的降低但锅炉上部仍存在一个温度较高区域。经过对速度场的观察分析发现,由于鼓风机的作用,锅炉后续管道的两个进口实际上是向外部环境排气而不是吸气,这也影响了锅炉的散热效果。因此,关闭锅炉后的两个进气口(图 8),可以看到锅炉整体温度进一步降低,锅炉上部存在的温度较高区域温度也几乎降为环境温度。这表明此种方法对于余热锅炉散热效果明显,能加快余热锅炉整体的散热速度,达到了改造要求。计算的过程中也表明,如果鼓风机停止工作,则余热锅炉的温度在短时间内又会有明显升高,此时若能打开锅炉后续管道的两个进气口,则余热锅炉的温度又会回升到图 5 所示的情况。如果此时有维修人员在锅炉内部,只要迅速逃离到锅炉的中下部就能避免发生安全事故。

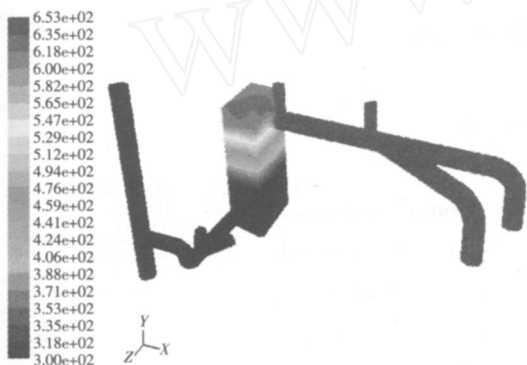


图 7 算例 5 温度分布

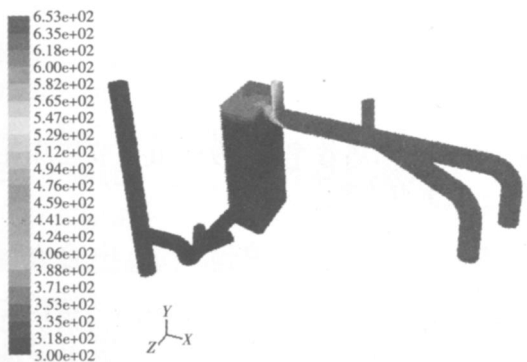


图 8 算例 6 温度分布

2.4 三种改造方法对于余热锅炉散热效果的对比

以锅炉高度为横坐标,该高度下的锅炉截面平均温度为纵坐标作出锅炉温度随高度变化图以对比各种改造方法对于锅炉的散热效果。从图 9 可以看出:在总烟管道上开设放散烟道对于锅炉的整体散热没有明显效果,即使增加出口数能使锅炉中下部的温度有一定程度的降低,但散热效果不

明显;在锅炉后续管道增加进气口的方法对于锅炉的散热有明显效果,但锅炉上部仍存在一个温度较高区域;锅炉下部增加鼓风机同时配合在总烟管道上开设放散烟道的方法对于余热锅炉散热效果明显,锅炉整体温度能保持在 300 k 左右。

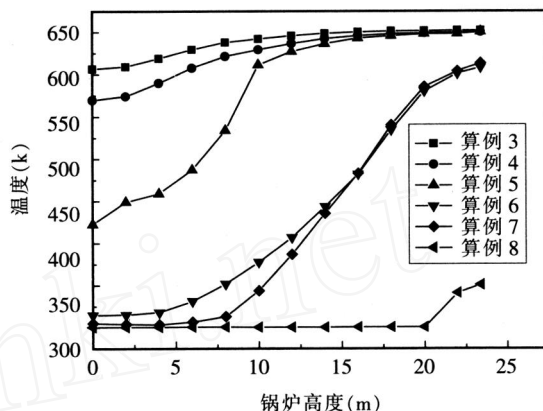


图 9 锅炉截面温度随锅炉高度变化图

3 结 论

本文提出了一些在余热锅炉需要进行检测维修时加快其散热速度并保持内部温度稳定的改造方法,并采用数值模拟的方法评价其效果,对实际余热锅炉的改造具有一定指导意义。

1) 仅仅在总烟管道上开设放散烟道对于锅炉的散热并无明显效果。

2) 在锅炉后续管道增加进气口的方法对于锅炉的散热有明显效果,但锅炉上部仍存在一个温度较高区域。

3) 锅炉下部增加鼓风机的方法对于锅炉散热效果明显,配合在总烟管道上开设放散烟道的方法能使锅炉整体温度能保持在 300 k 左右,达到了改造要求。

参考文献

- [1] 关 建. 热管余热锅炉在烧结厂的应用 [J]. 节能, 2008, 28(8): 48 - 50.
- [2] 宋新南, 胡自成. 铁矿烧结冷却过程热管式余热锅炉系统的设计与评价 [J]. 冶金能源, 2007, 26(3): 49 - 53.
- [3] 梁雪梅, 朱德庆, 姜 涛. 烧结节能技术现状与发展 [J]. 烧结球团, 2000, 25(4): 1 - 3.
- [4] 王福军. 计算流体动力学分析—CFD 软件原理与应用 [M]. 北京, 清华大学出版社, 2005 年.
- [5] 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, 2005 年.