

2 640 兆焦高温热风炉的设计

蓝如基 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 本文简述了2 640兆焦(63万大卡)高温热风炉的用途及结构特点。详细阐述了高温热风炉燃尽室和空气预热器的设计及计算方法,指出了设计的关键和独到之处。

关键词 空气加热器 设计 计算

一、用途和性能概述

本文介绍一种最新设计的高温热风炉。其热风温度高达600℃,在设计思想和结构布置上均与普通中低温热风炉有很大区别。

本热风炉是为快速烘干牧草提供高温干净空气而设计的,是牧草烘干机机组的关键设备之一。本热风炉也可用于其它需要高温空气的场合。其技术性能见下表:

热风炉主要技术性能表

技术特性			
输出热量	2 640兆焦/小时(63万大卡/小时)	输出热风温度	600℃
热风炉效率	70%	炉内热风阻力	3 360标米 ³ /时
煤耗量(以18645千焦/公斤计)	200公斤/小时	输出热风量	~1.47千帕
进口冷风温度	20℃	适用煤种	II、III类烟煤
结构特性			
炉体		预热器	
炉排面积	1.43米 ²	型式	肋片式
光侧受热面积	90米 ²	光侧受热面积	11.6米 ²
质量	5 353公斤	质量	690公斤
(直径×高)(毫米)	φ2 072×5 695	(长×宽×高)(毫米)	2 084×1 700×500

二、高温热风炉换热面积布置的指导思想和结构特点

众所周知,在相同冷热流体进出口温度下,逆流布置的温差最大。为此我们采用空气最高温度部分布置在炉膛区域经换热后送出。另外,在不同温度区域内采用不同传热方式,在高温区采用密植布置的传热管,中温区采用烟管,低温区采用肋片式空气预热器,以达到效率高、尺寸小的高温热风炉的结构型式(见图1)。

本高温热风炉除了同250万千焦新型立式热风炉具有相同的结构紧凑、先进等特点外,它的独到之处在于:

1. 在燃尽室前设置了一多孔反射板。反射板采用热容量大的耐高温材料制成。烟气穿过反射板能起到火焰混合燃尽作用,提高燃烧效率,同时由于本身的热容量大,可以反射到煤层表面,起到加强燃烧的作用。

2. 在燃尽室设置了多层的空气管组,这使高温区的受热面积大大增加,从而减小了其外形尺寸和燃尽室出口烟温。这种空气管组的设置在一般热风炉中没有用过,是实现本热风炉设计的关键,也是本热风炉的重要特点之一。

3. 燃尽室后采用了烟管束结构,这不

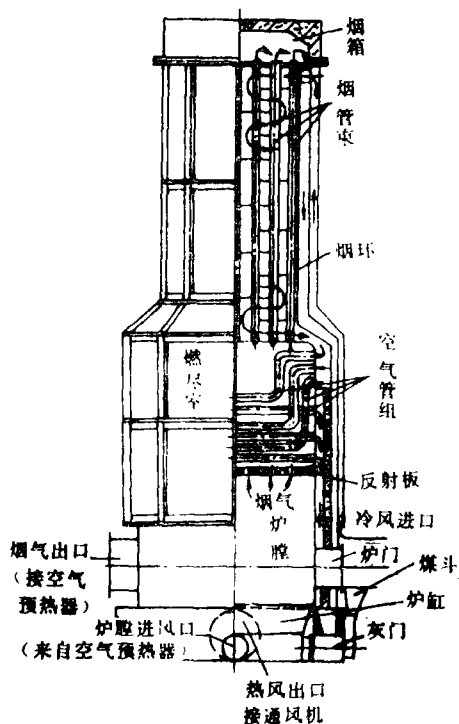


图1 高温热风炉结构示意图

但增大了受热面积,空气呈S形流线流动,使之纵横向冲刷烟管,提高了换热效果。而且这部分总体直径比炉膛部分小,形成过渡段。为了保证烟环外壳与烟管的热膨胀差别,设置了补偿器,从而保证了运行的可靠性。

4. 设置单独的肋片式空气预热器,是为了降低排烟温度;更重要的是使空气预热后送入炉膛助燃,从而提高了热风炉效率,也是本热风炉独特之处。

5. 炉膛外壁空气夹层的外侧采用硅酸铝耐火纤维保温层,以减少散热,在保温层外侧为烟环,少量的散热为烟气吸收,最外层为冷空气层,这使炉体的散热损失大大降低。

6. 采用了螺旋给煤装置,实现了顶煤反烧法,达到了消烟的目的,使炉子不再冒黑烟,改善了环境的污染。

三、炉膛的设计计算

炉膛的设计原则与计算方法与一般热风炉相同,详见文献[1]。但其中空气侧换热系数 α_k 应按下列公式进行计算[3]:

当空气侧雷诺数 $Re = 2000 - 10000$ 时

$$\alpha_k = \frac{0.5 Re^{0.47} \lambda}{d_e} \text{千焦}/(\text{米}^2 \cdot \text{时} \cdot \text{°C})$$

式中 λ ——空气导热系数

千焦/(米·时·°C)

d_e ——当量直径 米

当 $10000 < Re < 40000$ 时

$$\alpha_k = 0.087 \frac{Re^{0.66} \lambda}{d_e} \text{千焦}/(\text{米}^2 \cdot \text{时} \cdot \text{°C}) \quad (2)$$

四、燃尽室的设计与计算

本热风炉的烟气流程从炉膛经燃尽室后通过烟管束向上,在顶部烟箱处转入烟环向下,在炉体下部排入空气预热器。最后由引风机引入烟囱排出。烟气进入燃尽室后,其烟温仍然相当高,在充分利用烟气辐射热的同时,采用强化对流换热。为此,在燃尽室中设法布置尽可能多的空气管,以致换取更多的热量来降低其出口烟温。这样就能使结构尽可能地布置得紧凑。这部分的设计是本热风炉成功的关键部分。空气流程由下部外侧进入,在烟环外侧向上,转入烟管束以S形流线冲刷烟管外壁向下流动进入燃尽室外空气夹层上部,设计了沿四周顺次布置的12排空气管组,空气在管组内流到空气夹层下部,进入炉膛壁外侧空气夹层,至炉底外侧送出。这样布置受热面,使燃尽室的吸热量接近于炉膛的吸热量。

为使烟气尽可能均匀地纵、横向冲刷列管,在结构上作了恰当的处理,安装了烟气隔流与导流板。

燃尽室热力计算的传热系数 K 按下式计

算:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta}{\lambda} + \varepsilon} \quad (3)$$

式中 α_i ——烟气侧放热系数;
 α_k ——空气侧对流放热系数;
 δ ——金属壁厚, 米
 λ ——金属壁导热系数;
千焦/(米·时·°C)
 ε ——壁面灰污热阻
米²·时·°C/千焦

α_i 的值为辐射放热系数 α_j 与对流放热系数 α_{d_i} 之和。

$$\alpha_j = 4.9 \times 10^{-8} \frac{\alpha_b + 1}{2} \cdot a T_{cp}^3 \frac{1 - \left(\frac{T_b}{T_{cp}}\right)^4}{1 - \left(\frac{T_b}{T_{cp}}\right)} \quad (4)$$

千焦/(米²·时·°C)

式中 α_b ——壁面黑度;
 a ——烟气的黑度;
 T_{cp} ——烟气平均温度, K
 T_b ——积灰层表面温度, K

由于空气管组排列结构上的原因, 对流放热系数 α_{d_i} 包括烟气横向冲刷错列管组对流放热系数 α'_{d_i} 、烟气横向冲刷顺列管组对流放热系数 α''_{d_i} 和烟气纵向冲刷列管的对流放热系数 α'''_{d_i} 这三部分组成。这三个放热系数的计算公式按工业锅炉的计算方法进行[2]。则

$$\alpha_{d_i} = \frac{\alpha'_{d_i} H' + \alpha''_{d_i} H'' + \alpha'''_{d_i} H'''}{H' + H'' + H'''} \quad (5)$$

式中 H' , H'' , H''' 分别为错列、顺列和纵向冲刷管子的表面积。米²。

空气对流放热系数 α_k 采用空气在直管中流动的稳态对流换热公式加上修正系数而得。

直管部分对流换热系数可按公式(2)计算。空气在弯管部分对流放热系数按下式计算:

$$\alpha_k'' = \alpha_k' C_R \quad (6)$$

式中 α_k' ——直管部分对流放热系数;
 C_R ——弯曲部分修正系数。

从而

$$\alpha_k = \frac{\alpha_k' l_d + \alpha_k'' l_r}{l_d + l_r} \quad \text{千焦/(米}^2 \cdot \text{时} \cdot \text{°C)} \quad (7)$$

式中 l_d , l_r 分别为直管平均长度和弯管平均长度。米。

五、空气预热器的设计

为了提高炉膛的燃烧效率和降低排烟温度, 设计了独立的肋片式空气预热器。空气在预热器中与烟气流向互相垂直, 空气在外层, 烟气在内层(见图2)。在空气和烟气通道内分别均匀地布置了肋片。这种结构的空气预热器与列管式相比较, 具有体积小、结构紧凑、换热效率高、占地面积小等优点。

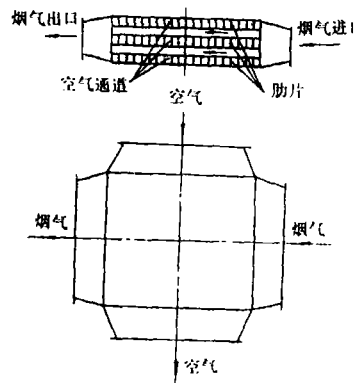


图2 空气预热器示意图

空气预热器中烟气和空气对流放热系数 α' 按式(2)计算, 式中符号分别为烟气或空气的特性系数。肋片的作用是应把计算的 α' 乘以一个折算系数。

折算放热系数按下式计算:

$$\alpha = \alpha' \frac{H_i + \eta H_p}{H_v} \quad (8)$$

式中 H_p ——肋片面积; 米²

H_i ——肋间平板面积; 米²

H_0 ——未装肋片时平板面积; 米²

η ——肋片效率。

$$\eta = \frac{1}{mh} \left(\frac{e^{mh} - e^{-mh}}{e^{mh} + e^{-mh}} \right)$$

$$mh = h \sqrt{\frac{2\alpha'}{\lambda\delta}}$$

h ——肋片高度; 米

δ ——肋片厚度; 米

α' ——空气或烟气对流传热系数;
千焦/(米²·时·°C)

λ ——空气或烟气导热系数。
千焦/(米·时·°C)

六、材料选择

高温热风炉的空气温度高达 600°C, 尽管在炉膛外侧安置了很密的肋片, 肋化系数已很大, 但由于空气本身温度很高, 使炉膛壁面的温度达到很高水平。经验表明, 设计良好的预热器, 其内壁最高温度与被加热的流体温度之差不大于 100°C^[4]。为此, 在设计时, 使炉膛壁面温度控制在钢板允许的范围以内, 这样的设计是合理的。另外, 选用材料时, 由于热风炉是非受压元件, 对强度要求不高, 没有危险性。对材料的要求主要

是抗高温氧化性能要好。因而可以选用一般的耐热钢板作为炉膛壁的材料, 尽可能地降低热风炉的造价。

燃尽室温度仍然很高, 所以选用了耐热管材。

烟气通过燃尽室后, 其温度已降低了, 所以可选用普通碳钢锅炉钢管作为烟管材料。

本热风炉的设计是成功的。且实现了半机械化燃烧, 克服了 2 500 兆焦热风炉手烧添煤冒黑烟等缺点。当然, 本热风炉必竟是新创, 还有待今后进一步完善。如冷风的进入, 现在是靠在烘干机侧安置引风机来实现, 如果加装鼓风机送风则更为理想, 风量也比较好调节。

参 考 文 献

- [1] 包传福, 谈浩如等. 250 万千焦 (60 万大卡) 新型立式热风炉的设计与计算. 热能动力工程, 1987, 2(4):27~35
- [2] 工业锅炉热力计算方法编写组编. 工业锅炉技术手册, 第二册 (1). 上海工业锅炉研究所出版, 1981.2
- [3] 第一机械工业部第一设计院编. 工业炉设计手册. 机械工业出版社, 1982.10
- [4] 《重有色冶金炉设计参考资料》编写组编. 重有色冶金炉设计参考资料. 冶金工业出版社出版, 1978, 7

The Design of a High-Temperature Hot-Air Furnace with a Capacity of 2.64 Million Joules (630 000Kcal)

Lan Ruji

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

This paper gives a brief description of the use and structural features of a 2.64 million joule (630 000 Kcal) high-temperature hot-air furnace. A detailed exposition has been made of the calculation method of the burning-out chamber and the air-preheater. The originality and key problems in design have been pinpointed and discussed.

Key Words: air heaters, design, calculation