

层燃垃圾焚烧炉的冷态试验研究

刘效洲

(广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 对前拱高度与炉排长度之比为 0.333、后拱高度与炉排长度之比为 0.12 和前拱倾角为 45° 的层燃垃圾焚烧炉进行了 8 种工况的冷态试验分析, 实验得出: 较合适的前后拱动量流率比在 1:2.1 ~ 1:5.4 范围内; 在垃圾层表面以上空间, 湍动度沿炉排长度方向分布的总趋势呈炉前、炉后的湍动度值小, 在 3.5% ~ 6% 范围内变化。

关 键 词: 层燃垃圾焚烧炉; 空气动力; 冷态试验

中图分类号: TK232 文献标识码: A

引 言

文献 [1 ~ 2] 分析我国城市垃圾燃烧存在的问题, 城市垃圾是一种水分高、挥发分高、热值低的特殊燃料, 在组织燃烧时首先要考虑水分的蒸发、析出和干燥; 另外由于挥发分高, 燃烧放热相对集中, 燃烧段的高温区范围小, 这就要求炉拱的设计必须适应燃烧的需要。

良好的燃烧特性要求尽量提高垃圾焚烧炉炉拱辐射换热量, 虽然通过增大前拱的覆盖率等措施可以增加辐射壁面积, 从而强化辐射换热。但是, 利用改变炉拱几何参数的方法来提高其辐射换热能力毕竟是有限的, 有效地增加炉拱辐射换热量的另一主要途径就是尽可能提高拱区的温度。提高拱区温度的主要措施是使高温烟气深入前拱区, 并在那里停留足够的时间, 以保持良好的充满度。因此, 提高拱区的辐射换热问题主要看前拱形状能否组织起合理的拱区空气动力工况。

文献 [2 ~ 3] 研究了层燃式焚烧炉的焚烧过程, 分析了垃圾团块内部的温度场和中心点的升温时间曲线。本研究初步选定了冷态试验炉拱结构, 将在 8 种不同工况下的试验对其空气动力工况的分布规律及其特性进行研究, 以便确定合理的炉拱结构参数和空气动力参数。然后, 将试验研究结果推广应用

用到原型上, 用来指导垃圾焚烧炉的设计、调整和运行。

1 层燃垃圾焚烧炉的空气动力影响因素

本研究的全覆盖炉拱及其分仓送风的配风方式的基本结构简图如图 1 所示。

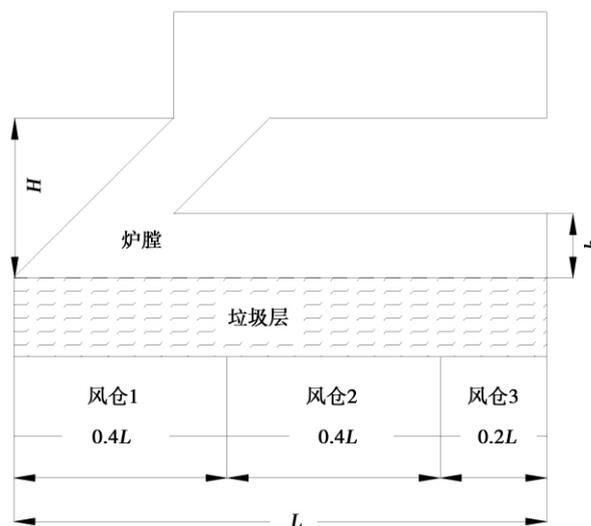


图 1 垃圾炉炉拱结构示意图

Fig. 1 Schematic drawing of the structure of the arch of a refuse incinerator

H 为前拱高度, h 为后拱高度, L 为炉排长度, $H/L = 0.333$, $h/L = 0.12$, 前拱倾角为 45° 后拱为水平拱, 前、后拱采用全覆盖结构。当炉型基本形式确定之后, 影响炉内燃烧空气动力工况的因素主要有以下 6 个方面。

1.1 燃料特性

考虑到所设计的炉型应具有较宽的燃料适应性, 采两种不同燃料成份和发热量相差较大的垃圾

收稿日期: 2012 - 01 - 05

作者简介: 刘效洲(1971 -), 男, 山东青岛人, 广东工业大学副教授, 博士。

进行试验研究,其成份如表 1 所示。

表 1 燃料成份(%)
Tab. 1 Fuel composition

燃料种类	C _{ar}	H _{ar}	S _{ar}	O _{ar}	N _{ar}	Cl _{ar}
垃圾 1	11.3	1.75	0.32	8.43	0.37	0.17
垃圾 2	20.6	3.20	0.60	14.6	0.50	0.34

1.2 前拱倾角 α

前拱倾角 α 的大小既影响前拱的覆盖率,又影响喉口的几何尺寸。它在组织垃圾燃烧中起重要作用。

1.3 前拱高度 H

当前拱倾角 α 确定之后,前拱高度 H 对前拱区的有效辐射面积、前拱区干燥空气的流动特性以及前后拱区和炉内空气流动特性有重要的影响,是前拱设计的重要参数。

1.4 后拱高度 h

h 是指垃圾层表面和后拱之间的距离, h 的大小对后拱区的燃烧空气动力工况以及后拱区气流的流动阻力等有直接的影响。

1.5 配风方式

合适的炉拱结构只有和相应的配风方式结合起来才能发挥作用,这一点对于垃圾焚烧炉来说尤为重要,所以对配风方式的研究也是本次试验的一个重点。

1.6 链条速度

通过改变链条速度可以改变进入垃圾炉的垃圾量。垃圾炉应该具有较宽的负荷调节范围,所以链条速度也是一个重要影响因素,试验保持炉排速度(2 m/h)不变。

2 实验研究

2.1 实验仪器

本次试验采用德国“testo”公司生产的热线风速仪,此仪器具有智能化和集成化的特点,配有一维热线探针及球形风速探头。

2.2 实验工况

冷态实验必须保证在自模化区内进行。炉拱下的流动是一个复杂空间的流动问题,根据文献[5],选取后拱出口的当量直径做为特性参数,其临界雷诺数一般在 1.5×10^4 左右。在本次冷态试验中,每个工况的实际雷诺数均大于文献推荐的临界雷诺

数,可以确保流动处于自模化区。

表 2 是通过选取不同种类垃圾及改变炉排上垃圾层厚度,并采用不同的配风方式,来模拟实炉中火床面不同位置产生的烟气量,并据此进行冷态试验。

表 2 冷态试验工况

Tab. 2 Cold-state test conditions

工况	燃料	风仓 1 /%	风仓 2 /%	风仓 3 /%	燃料厚度 /mm	后拱出口雷诺数
GK01	垃圾 1	40	45	15	375	2.5×10^4
GK02	垃圾 1	30	55	15	375	2.8×10^4
GK03	垃圾 1	40	45	15	500	4.0×10^4
GK04	垃圾 1	30	55	15	500	4.43×10^4
GK05	垃圾 2	40	45	15	375	3.37×10^4
GK06	垃圾 2	30	55	15	375	3.71×10^4
GK07	垃圾 2	40	45	15	500	5.3×10^4
GK08	垃圾 2	30	55	15	500	5.9×10^4

2.3 实验结果及分析

2.3.1 气流速度的大小和方向

通过速度场的测定,可以确定炉内气流的分布情况,了解拱区的空气动力特性,判断炉拱工作性能的优劣,同时确定合理的配风方式。

用带球形风向探头的热线风速仪实测了各测点水平方向和垂直方向的速度值,相对高度 $h/H = 0.13$ 、 $h/H = 0.27$ 的两个截面沿炉排长度方向的速度分布如图 2 ~ 图 5 所示。

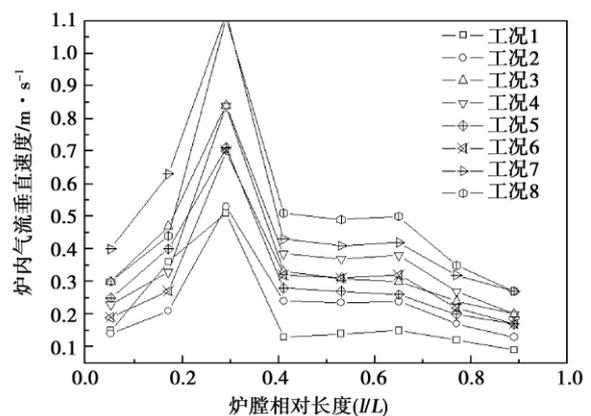


图 2 各工况在 $h/H = 0.13$ 截面上沿炉排长度方向垂直速度分布

Fig. 2 Vertical velocity distribution under various operating conditions in the section of $h/H = 0.13$ along the length direction of the stoker

试验研究表明,采用高覆盖率水平后拱、全倾斜前拱搭配,烟气很难在前拱区形成旋转和回流,炉内气流总体呈“L”型流动。后拱出口气流穿透前拱区的深度以及后拱出口气流转向的早晚与前后拱区的配风比例有很大关系。当后拱区配风比例增加,后拱出口水平动量流率增大,气流冲向前拱的穿透力明显提高。所有试验工况均表明,当1号风室的风量从40%减小到30%、2号风室的风量从45%提高到55%时,10号测孔所测水平方向速度增大,方向指向炉前;2号测孔所测水平方向速度的绝对值在减小,甚至由负值变为正值。此时合成速度与水平面的夹角会相对减小,后拱出口气流的转弯位置向炉前推进。后拱出口气流穿透能力的提高将会使更多的高温烟气冲向前拱区,可以有效地提高前拱区的温度水平,强化对入炉垃圾的辐射、对流换热,加快燃料水分的蒸发、干燥,提高着火和燃烧的稳定性。但后拱的动量流率应在一个合理的范围内,其值过大,会造成前拱区气流的闷塞,引起前拱区呈现正压。试验得到的较合适的前后拱动量流率比在1:2.1~1:5.4范围内。

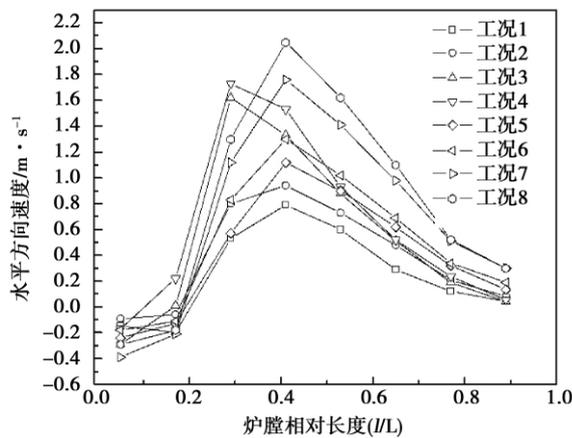


图3 各工况在 $h/H = 0.13$ 截面上沿炉排长度方向水平速度分布

Fig.3 Horizontal velocity distribution under various operating conditions in the section of $h/H = 0.13$ along the length direction of the stoker

2.3.2 湍动度大小

湍动度大小是混合性能的标志。前拱下的气体含氧量较高,而由后拱喷出的烟气其可燃性气体及飞灰含量都很高,所以较大的湍动度可以促进二者的有效混合,这对可燃性气体及飞灰的燃尽极为有利。因此,湍动度的测量可以判断炉内燃烧工况

优劣。

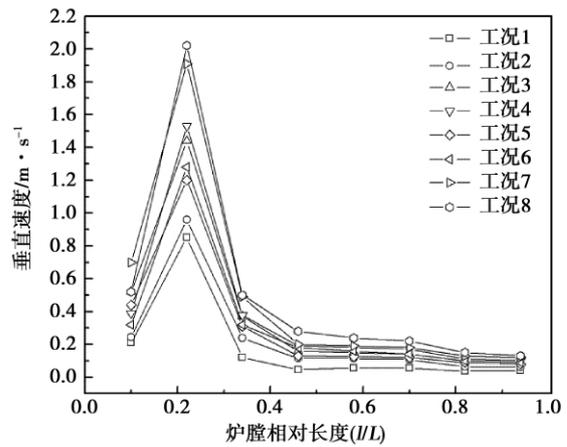


图4 各工况在 $h/H = 0.27$ 截面上沿炉排长度方向垂直速度分布

Fig.4 Vertical velocity distribution under various operating conditions in the section of $h/H = 0.27$ along the length direction of the stoker

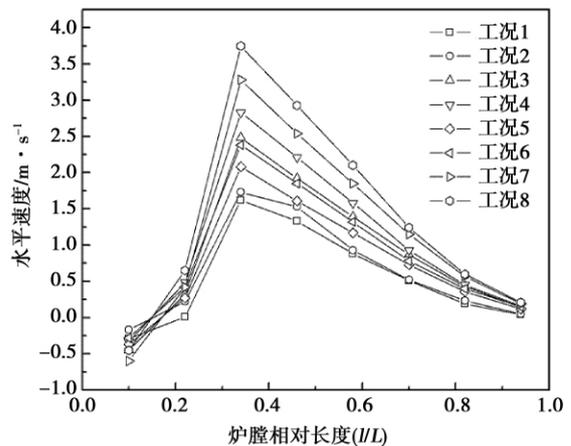


图5 各工况在 $h/H = 0.27$ 截面上沿炉排长度方向水平速度分布

Fig.5 Horizontal velocity distribution under various operating conditions in the section of $h/H = 0.27$ along the length direction of the stoker

图6和图7分别为 $h/H = 0.13$ 和 $h/H = 0.27$ 两个截面上沿炉排长度方向湍动度的分布。

根据湍动度的分布图可以看出,在试验范围内湍动度的分布有以下3个共同特点:

(1) 在垃圾层表面以上空间,湍动度沿炉排长度方向分布的总趋势呈炉前、炉后的湍动度值小,而在 $l/L = 0.25 \sim 0.6$ 的区域湍动度值大。

(2) 在炉膛空间出现湍动度值最大的位置约在

后拱出口喉口处附近。

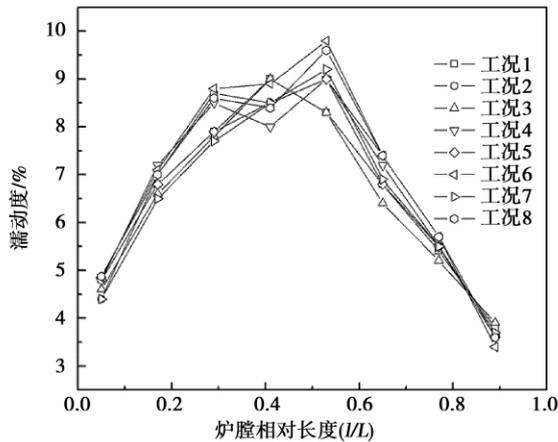


图6 各工况垃圾燃料表面空间湍动度分布
Fig.6 Turbulence degree distribution in the space on the refuse fuel surface under various operating conditions

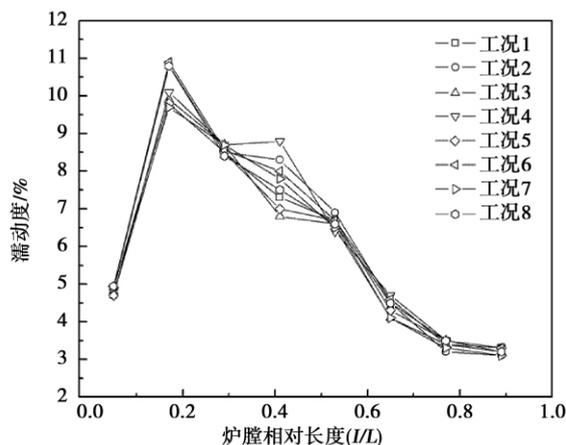


图7 各工况1、2炉膛空间湍动度分布
Fig.7 Turbulence degree distribution in the space of No.1 and 2 furnace under various operating conditions

(3) 增加后拱区的配风比后,其湍动度普遍会提高。

以上结果说明,在垃圾层表面以上空间湍动度最大的区域刚好是垃圾燃料着火和旺盛燃烧的地方,这对保证火床中垃圾的燃烧以及挥发分的析出、着火、燃烧均是十分有利的。从强化火床面燃烧,加强挥发分析出和提高垃圾燃料的燃尽来讲,适当增加这一区域的风量是有好处的,也符合火床炉“烧中间、促两头”的燃烧组织原则。

3 结论

通过模型的冷态空气动力场试验,可以对炉内气流的流场分布、湍动混合等特性进行测试和研究,从而考核炉拱的性能优劣。垃圾焚烧火床炉冷态试验研究表明,采用全覆盖前后拱、水平后拱的结构能较好地组织炉内空气动力工况,此时炉拱设计的无量纲结构参数为: $H/L = 0.333$, $h/L = 0.12$, 前拱倾角为 45° 。控制后拱气流穿透和形成良好的气流充满度的设计参数为: 前后拱区的动量流率比为 $1:2.1 \sim 1:5.4$, 前、后拱区的配风比例为 $3:7$ 。火床炉空间湍动度测量结果表明,在火床炉喉口处具有强烈的湍动混合能力,此时用于炉前的干燥风与后拱出流的烟气进行着强烈的热量、质量、动量交换,对提高可燃性气体的燃尽,改善炉前干燥条件有重要的作用。

参考文献:

- [1] 王亦楠. 我国大城市生活垃圾焚烧发电现状及发展研究[J]. 宏观经济研究, 2010(11): 12-23.
WANG Yi-nan. Study of the status quo of the power generation through the incineration of daily-life refuse in big cities in China and its development[J]. Macroeconomic Research, 2010(11): 12-23.
- [2] 陈丹, 唐茂华. 垃圾焚烧发电在欧美的实践与在中国的推行[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版), 2010(11): 63-64.
CHEN Dan, TANG Mao-hua. Practice of power generation through the refuse incineration in Europe and America and its popularization in China[J]. Journal of Chongqing Institute of Science and Technology(social science edition), 2010(11): 63-64.
- [3] 马晓茜, 汤勇. 层燃式焚烧炉中垃圾团块内部温度场分析[J]. 燃烧科学与技术, 2000, 6(1): 54-56.
MA Xiao-qian, TANG Yong. Analysis of the temperature field inside the refuse mass in a grate-fired incinerator[J]. Combustion Science and Technology, 2000, 6(1): 54-56.
- [4] 马晓茜, 张笑冰, 卢苇, 等. 垃圾焚烧层燃炉与CAO系统的分析比较[J]. 工业炉, 1999, 21(3): 12-13.
MA Xiao-qian, ZHANG Xiao-bing, LU Wei, et al. Analysis and comparison of a refuse grate-fired incinerator and a CAO system[J]. Industrial Boiler, 1999, 21(3): 12-13.
- [5] 马才云. 火床炉拱区的空气动力工况及其对炉拱性能的影响[D]. 西安: 西安交通大学, 1986.
MA Cai-yun. Aerodynamic operating conditions of the arch area of a fire-bed boiler and their influence on the arch performance[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1986.

(陈滨 编辑)

Information Fusion Technology [刊, 汉] ZUO Wei-heng, LIU Tong, ZUO Pei-xin (National Key Laboratory on Power Transmission and Distribution Equipment Items, System Safety and New Technologies, Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(4). - 464 ~ 467

Due to a long delay and a big time constant of the combustion control system of a power plant, it is very difficult for a traditional coordination and control system to quickly and precisely realize a stabilization of the main steam pressure. The radiant energy and heat quantity signal were used to perform an information fusion and an algorithm for optimizing the air/coal ratio was designed, making it possible to realize a quick response to a change of the combustion rate. The test results show that the information fusion-based algorithm can quicken the dynamic response and the on-line regulation air/coal ratio optimization algorithm can result in a reduction of the oxygen content of the flue gas by 1.09% averagely during a stable state process, make it possible for the fuel to burn more sufficiently compared with the combustion before the optimization and reduce the coal feed by 3% - 5%, thus leading to an enhancement of the combustion cost-effectiveness. **Key words:** thermal power plant unit, combustion control system, information fusion, air/coal ratio, radiant energy

层燃垃圾焚烧炉的冷态试验研究 = Cold-state Experimental Study of a Laminar Combustion Waste Incinerator [刊, 汉] LIU Xiao-zhou (College of Material and Energy Source, Guangdong University of Technology, Guangzhou, China, Post Code: 510006) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(4). - 468 ~ 471

A cold-state test and analysis were conducted of a laminar combustion waste incinerator under 8 operating conditions, of which the ratio between the front arch height and the length of the grate was 0.333, the ratio between the rear arch height and the length of the grate was 0.12 and the inclination angle of the front arch was 45 degrees. The test results show that it is comparatively appropriate for the ratio of momentum flow rate between the front and rear arch falling in a range from 1:2.1 to 1:5.4. In the space above the surface of the waste layer, the distribution of the vorticity along the direction of the grate length tends to be small in both front and rear portion of the furnace, changing in a range from 3.5% to 6%. **Key words:** laminar combustion waste incinerator, aerodynamics, cold-state test

大容量锅炉炉内喷钙辅助脱硫系统可行性研究 = Feasibility Study of an In-furnace Calcium Spraying Desulfurization Auxiliary System for a Large-capacity Boiler [刊, 汉] LIU Dan-yao, ZHANG Cheng, XIA Ji, CHEN