

# 四墙切圆布置燃烧器炉内实际切圆大小的试验研究

谭厚章, 余战英, 徐通模, 惠世恩

(西安交通大学 能动学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 在 1 MW 实验台上分别对四墙切圆燃烧方式炉内冷态、热态实际切圆直径进行了测量, 热态试验结果显示燃烧宜宾无烟煤时, 一次风截面热态切圆直径为假想切圆直径的 3 倍; 燃烧神木烟煤时, 相同截面热态切圆直径为假想切圆直径的 7.7 倍, 数据分析预示: 冷态下沿炉膛高度切圆直径呈线性增大, 热态下沿炉膛高度切圆直径呈波浪形增大。

**关键词:** 煤粉燃烧; 四墙切圆; 试验研究

中图分类号: TK223.25 文献标识码: A

## 1 前言

煤粉锅炉在切圆燃烧方式时, 炉内假想切圆直径是决定炉内空气动力场的关键参数, 假想切圆直径大小直接决定燃烧状态下实际切圆的大小, 也决定着炉内火焰充满度。实际切圆直径太小, 会引起火焰不能及时点燃下游火焰, 着火稳定性差, 燃尽率低。

对直流燃烧器, 其布置方式主要分四角布置方式和墙置布置方式, 关于四角布置方式的煤粉燃烧炉内切圆有一些经验参考数据, 文献 [2] 认为四角切圆燃烧热态切圆直径一般为假想切圆直径的 6~8 倍, 但与煤种的关系并未表达。对燃烧器四墙布置方式其热态炉内空气动力场研究数据就更少, 而四墙布置燃烧器方式对劣质煤的着火燃烧有其独特的优点<sup>[1, 3~4]</sup>, 很有必要进行更详细的研究。本文研究将燃烧器布置在四墙上, 考察其炉内冷、热态下切圆大小及其与煤种等的关系。

## 2 热态实际切圆影响因素分析

影响实际切圆直径的因素主要有以下几点:

### 2.1 假想切圆直径大小

假想切圆直径越大, 其实际切圆直径必然越大。

射流沿喷口轴线方向随距离的增长, 其射流流量逐步减弱, 对圆形射流轴线上速度为<sup>[4]</sup>:

$$\frac{u_m}{u_0} = k_u \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{1/2} \cdot \frac{d_0}{x} \quad (1)$$

式中:  $u_0$ —喷口出口处轴向速度;

$u_m$ —离喷口出口  $x$  距离处轴向速度;

$k_u$ —系数(对等温射流  $k_u = 6.3$ );

$\rho_0$ —喷出流体密度;

$\rho_a$ —周围流体密度;

$d_0$ —喷嘴直径;

$x$ —离喷口轴向距离。

由上式可知, 射流进入炉膛后, 沿轴线上速度逐渐变小, 射流刚性逐渐减弱, 这样, 在受到上邻角气流冲击时就会产生偏斜。最后导致实际切圆直径比假想切圆直径大。假想切圆直径越大, 其射流受上邻角射流冲击偏移就越大。

### 2.2 射流动量矩流率

对已定尺寸的炉膛, 从喷口到达切圆边缘的距离是固定的, 如式(1)中的  $x$  为定值, 此时, 射流动量矩流率越大, 表明射流出口速度越高,  $u_0$  越大, 自然  $u_m$  值就会越大。 $u_m$  值(即射流到达切圆边的速度)越高, 其射流刚性就越好, 射流偏移就会小下来, 因此, 射流动量矩流率越大, 实际切圆相对就会越小。

### 2.3 燃烧煤种及燃烧过程

相对温度较低 ( $< 400\text{ }^\circ\text{C}$ ) 的一、二、三次风射流进入炉膛后, 射流迅速吸热, 温度迅速升高, 体积也剧烈膨胀, 而气体的体积膨胀必然带来射流的偏移, 引起实际切圆直径的增大。而燃烧化学反应的剧烈程度与煤种、燃烧方式和燃烧过程紧密相联, 对挥发分容易着火的烟煤由于其着火速度快, 火焰传播速度快, 燃烧化学反应剧烈, 体积膨胀比也大, 射流偏转自然就较大。对准着火无烟煤、劣质烟煤由于其燃烧化学反应慢, 体积膨胀也小, 膨胀造成的射流偏移也小, 实际切圆直径相对也就小。

### 2.4 燃烧器布置方式及炉膛尺寸

对设计假想切圆直径相同的炉膛，燃烧器布置在四角与四墙中部附近，其射流出口至假想切圆切线处距离是不同的，对墙置燃烧器其射流刚性减弱较小，实际切圆直径会明显小于燃烧器四角布置方式。

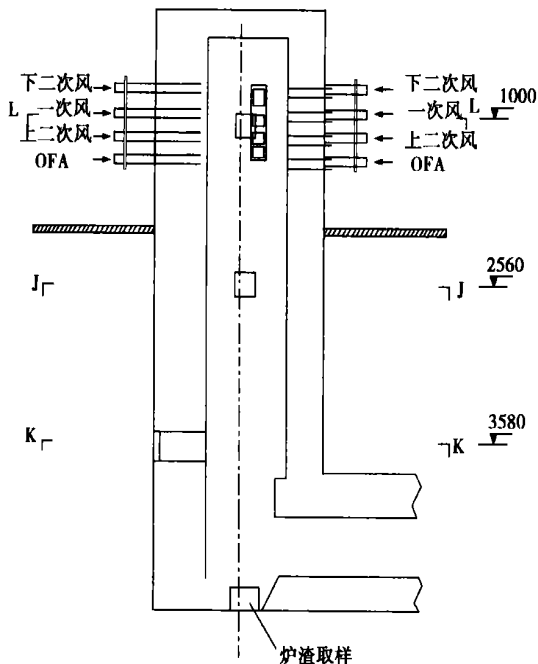


图 1 速度场测孔及炉渣取样孔布置

### 3 热态试验

炉膛截面尺寸为 800 mm × 600 mm，燃烧器为四墙布置，如图 2，试验设计假想切圆直径为  $\Phi 70$  mm。在试验炉上进行了冷态试验，测量装置采用带导流定向的热球风速仪，可直接读取切向速度和轴向上升速度值。在热态下，由带双层水冷的动、静压枪组成的皮托管进行炉内切向速度的测度，据此测出热态切圆的大小，

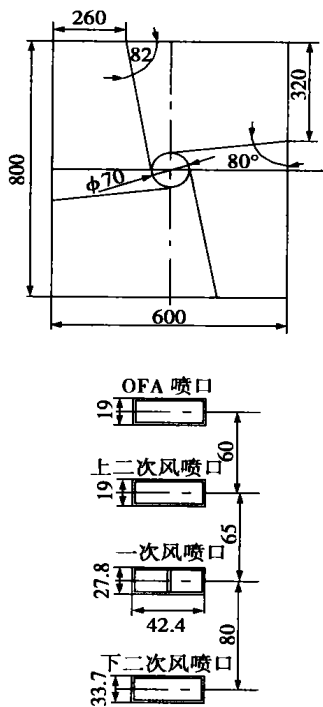


图 2 燃烧器结构尺寸图

其皮托管结构如图 3。

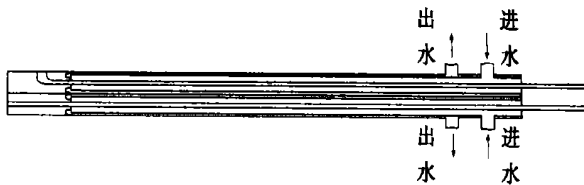


图 3 热态双水冷皮托管结构

### 4 冷态测量结果与分析

采用带导向的热球速仪测量了三个不同高度的截面。首先对标高为 1 000 mm L-L 截面(即一次风喷嘴口截面)进行沿炉宽方向的切向速度场测量，

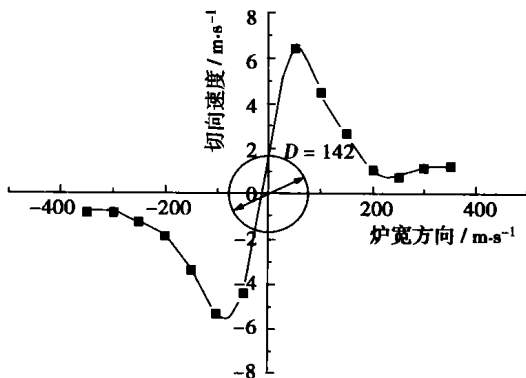


图 4 L-L 截面切向速度

结果见图 4，设计假想切圆直径为  $\Phi 70$  mm，实际测得切圆直径为  $\Phi 142$  mm，约为假想切圆直径 2.0 倍；再测量了标高为 2 560 mm J-J 截面、3 580 mm K-K 截面的切向速度场，见图 5、图 6。可看出，实际切圆直径分别为  $\Phi 365$ 、 $\Phi 451$  mm，为假想切圆直径的 5.2 倍、6.44 倍。冷态下，实际切圆随炉膛高度基本呈线性逐步变大，见图 7。

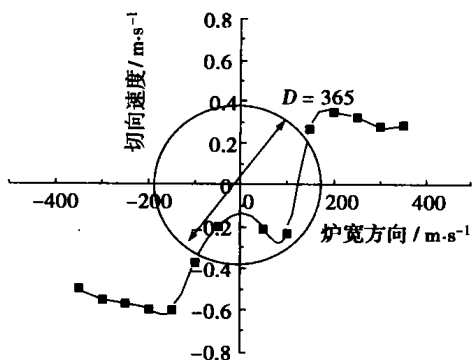


图 5 J-J 截面切向速度

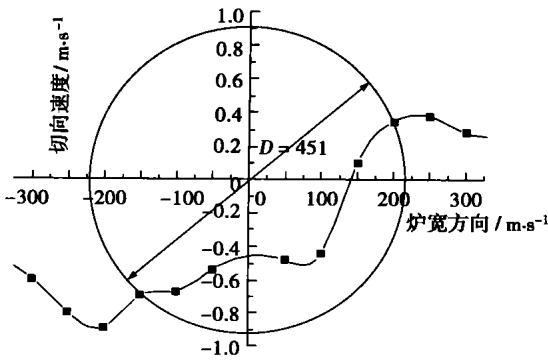


图 6 K-K 截面沿炉深方向切向速度

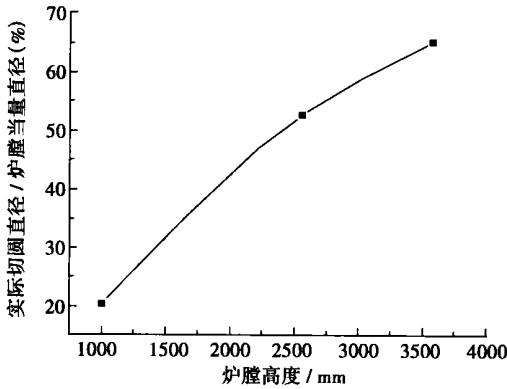


图 7 冷态炉内实际切圆直径沿炉膛高度变化

### 5 热态试验结果分析

试验煤种为宜宾无烟煤和神木烟煤, 工业分析见表 1。

表 1 煤种的工业分析

	$W_{ad}$	$A_{ad}$	$V_{ad}$	$C_{ad}$	$Q_{in, ad} / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
宜宾无烟煤	1.41	37.29	9.85	51.45	20562
神木烟煤	4.53	8.82	35.55	51.1	28725

在热态下, 进行了炉内切向速度的测试, 炉内切向速度最大处定为切圆边界, 测量由带双层水冷的动、静压枪组成的皮托管进行测量。测量截面为燃烧器区域一次风喷入截面, 测量结果见图 4、图 5, 从图中可分析:

燃烧无烟煤时, 试验测得热态切圆直径为  $\Phi 210$  mm, 大约为假想切圆直径的 3 倍, 见图 8。这说明热态下气流燃烧膨胀实际切圆直径增大, 但由于无烟煤挥发分少, 着火延迟, 一次风喷入截面燃烧还不剧烈, 气流受热膨胀不大。另外, 由于四墙切圆燃烧器离火焰中心近, 射流刚性较好, 沿喷口方向上的动能较好地克服切向气流转动动能。较小的切圆能有

效地增加煤粉与气流之间的湍动, 使切圆内保持较高的温度形成稳定的高温炉膛中心回流, 在这中心区以内, 具有比四角切圆布置炉膛中心更高温、更大湍动度, 这也是四墙布置燃烧器一大特点。四角切圆燃烧方式布置时, 由于喷口离切圆距离较远, 气流到达切圆处其动能已损耗太多, 气流刚性较差, 相同假想切圆直径下实际切圆直径会比四墙布置时大。

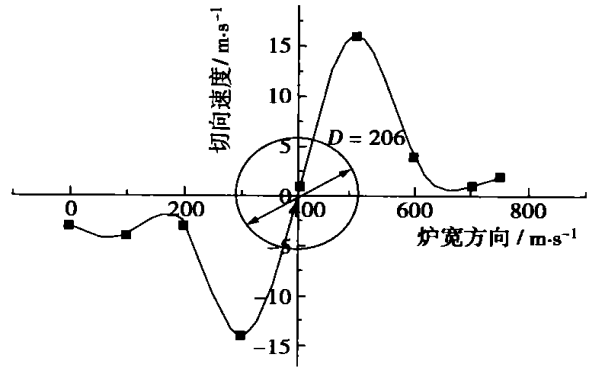


图 8 燃烧无烟煤一次风截面热态实际切圆

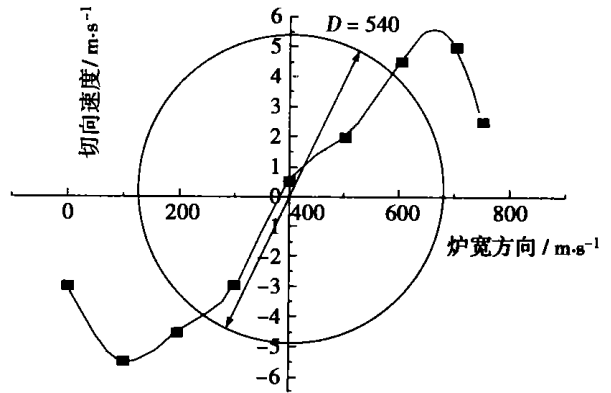


图 9 燃烧烟煤一次风截面热态实际切圆

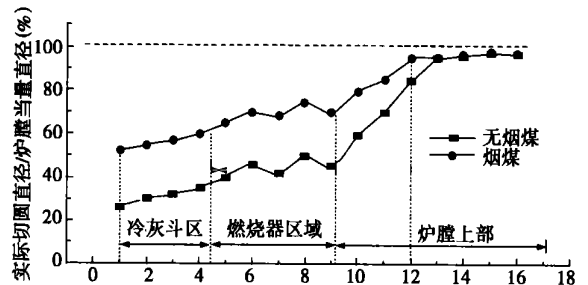


图 10 炉内热态相对实际切圆直径随炉膛高度变化预测图

(下转第 166 页)

图 5(c) 是 26 层金属丝网在风机速度改变时与降温的温差之间的关系曲线图, 如图所示, 随着风机速度的增加降温的温差逐渐增大, 而在温差达到  $55.7^{\circ}\text{C}$  以后, 再增加风机速度温差就呈现下降趋势。原因是: 一方面迎面风速增大, 热质交换系数增大, 蒸发冷却中冷器的降温和加湿效果会提高, 但风速太大会导致空气与填料之间的接触时间缩短而减弱了降温效果; 另一方面在蒸发冷却中, 空气与水表面的饱和空气层之间温差和水蒸气分压差是推动力, 当降温的温差达到一定程度后, 空气的相对湿度增大到一定值, 蒸发冷却的动力降低, 进入空气中的水蒸气减少, 蒸发冷却效果降低。

## 5 结 论

本实验分别研究 ZY-I 型、ZY-II 型、ZY-A10 型、ZY-A12 型、ZY-A16 型以及 ZY-A26 型中冷器的阻力特性, 发现前四者的阻力过大, 超过了常规中冷器的阻力范围, 所以不宜采用。还研究了 ZY-

A26 型蒸发式中冷器实验情况, 结果表明其可以具有原有中冷器所能达到的温降, 而且阻力等于甚至小于原有间壁式中冷器, 能达到实验的目的和要求, 所以可以将其替换原有中冷器。

蒸发冷却式中冷器原理简单, 实例计算证明了其应用可行性, 可应用于柴油机、燃气轮机进口以及可探讨 ICR 船用燃气轮机。本文只是初步的理论和试验研究, 需要日后进一步完善和发展。

## 参考文献:

- [1] 宣永梅. 直接蒸发冷却空调机有填料的性能评价[J]. 洁净与空调技术, 2001, 13(3): 6-8.
- [2] 武俊梅. 直接蒸发冷却空调机性能研究[J]. 西安制冷, 2000, 19(1): 22-24.
- [3] 郑叔琛. 浅谈燃轮机的进气冷却技术[J]. 南京工程学院学报, 2002, 1(3): 23-26.
- [4] 沈维道. 工程热力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [5] 邢永杰. 淋水金属填料的直接蒸发冷却实验研究[J]. 制冷, 2001, 20(4): 16-19.

(渠 源 编辑)

(上接第 159 页)

图 9 为燃烧烟煤试验中测得的实际切圆直径为  $\Phi 539\text{mm}$ , 是假设切圆直径的 7.7 倍。可见, 燃烧烟煤试验中测得的实际切圆比燃烧无烟煤工况下大许多。这是由于烟煤喷入后迅速着火, 在一次风截面上就已强烈膨胀, 导致煤粉射流严重偏斜。因此在锅炉设计时, 假想切圆的设计一定要与煤种紧密相联。也说明煤粉在炉膛内随着燃烧过程的发展, 其实际切圆是不断膨胀的。而实际切圆膨胀过程不是单调增加, 在燃烧器区域内, 实际切圆还受到一、二、三次风动量矩流率的影响, 一次风速偏小, 一次风层面相对实际切圆直径就偏大, 二次风速较大, 二次风层面相对实际切圆直径就偏小, 燃烧器区域由于有多层一、二、三次风, 因此, 燃烧器区域中的实际切圆沿炉高方向是呈波浪形变化的。冷灰斗区域及炉膛上部由于没有射流干扰, 其相对切圆直径呈单调变化。整个炉膛热态炉内实际切圆变化规律如图 10 所示。

## 5 结 论

(1) 在本实验条件下, 冷态实际切圆直径为假

想切圆直径 2.0 倍, 实际切圆随炉膛高度基本呈线性逐步变大。

(2) 高挥发分、易着火烟煤实际切圆直径明显大于无烟煤工况; 在本实验条件下, 燃烧宜宾无烟煤时, 一次风截面热态切圆直径大约为假想切圆直径的 3 倍; 燃烧神木烟煤时, 一次风截面热态切圆直径大约为假想切圆直径的 7.7 倍。

(3) 燃烧器区域受不同层次一、二、三次风不同动量矩流率的影响, 炉内实际切圆直径是波浪形变化。旋转烟气流离开燃烧器区域后, 由于没有射流制约, 燃烧化学反应剧烈, 气流剧烈膨胀, 实际切圆直径迅速变大, 并贴壁。

## 参考文献:

- [1] 曾汉才. 劣质煤燃烧与利用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993.
- [2] 何佩葵, 赵仲虎, 秦裕琨. 煤粉燃烧器的设计与运行[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [3] 张 旋. 燃烧器四墙布置切圆燃烧锅炉内空气动力场与烟道内流场冷态模化试验研究与数值模拟[D]. 西安: 西安交通大学, 1995.

(渠 源 编辑)

injector has been found to be correlated to the back pressure of the pneumatic conveying system. **Key words:** pneumatic conveying, gas nozzle, transport characteristics, gas-solid injector

排气管偏置对 CFB 锅炉旋风分离器性能的影响 = **The Impact of an Offset Mounted Exhaust Pipe on the Cyclone Separator Performance in a Circular Fluidized Boiler** [刊, 汉] / PENG Lei, LI Jun (College of Energy and Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), WANG Guo-hong (Design Department, Dongfang Boiler Group Co. Ltd., Zigong, China, Post Code: 643001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 153 ~ 156

Through cold-state modeling tests a study was conducted of the influence of an offset mounted exhaust pipe on the performance of a cyclone separator installed on a circular fluidized bed boiler. The results of the tests indicate that the offset mounted exhaust pipe has markedly enhanced the efficiency of the cyclone separator along with a reduction of its total resistance. In view of this the adoption of a suitably offset exhaust pipe can be considered as one of the major methods for improving the performance of the cyclone separator. **Key words:** offset mounted exhaust pipe, separation efficiency, separator resistance, cyclone separator, circular fluidized bed boiler

四墙切圆布置燃烧器炉内实际切圆大小的试验研究 = **Experimental Research on the Actual Diameter of a Tangential Circle in a Tangential-fired Boiler Furnace** [刊, 汉] / TAN Hou-zhang, YU ZHAN-ying, XU Tong-mo, HUI Shi-en (School of Energy and Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 157 ~ 159, 166

On a 1 MW test rig measurements were taken of the actual tangential circle diameter of a tangential-fired furnace respectively under cold-state and hot-state test conditions. The hot-state test results indicate that in case of firing Yibin anthracite the tangential circle diameter at a primary air section under a hot state test condition is three times that of the supposed diameter. When Shenmu bituminous coal was fired the tangential circle diameter of the primary air section under a hot-state test condition is 7.7 times that of the supposed diameter. The analysis of the test data allows one to predict that under cold-state test conditions the tangential circle diameter along the furnace height assumes a linear increase, and under hot-state test conditions the same diameter undergoes a wave-like increase. **Key words:** pulverized coal combustion, tangential-fired furnace, experimental research

紧凑高效型水平管束降膜蒸发换热器的实验研究 = **Experimental Study of a Falling-film Evaporative Heat Exchanger Composed of Compact and High-efficiency Horizontal Tube Banks** [刊, 汉] / LIU Zhen-hua, ZHANG Tong (College of Mechanical and Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 160 ~ 162

Under atmospheric conditions a water falling-film evaporative heat-exchange test was performed of compact tube banks composed of single-row and three-row staggered smooth tubes and roll-pressed intensified heat-exchange ones. It has been confirmed that under intermediate and low thermal loads the heat exchange factor of the roll-pressed tubes can be enhanced 3-4 times, thus exhibiting excellent intensified boiling heat-exchange performance. Tube pitch and losses due to liquid-film splatter have a very small influence on evaporative heat exchange characteristics. Also investigated is the difference in heat exchange characteristics of the single row and three-row tube banks. Tests have shown that such difference is more marked in a low Reynolds number zone. **Key words:** intensified heat exchange, evaporation, boiling, falling