

叶片特性和中心风量对一种煤气燃烧器冷态流场的影响

严 阵,李 鲲,张世红,陈汉平

(华中科技大学 煤燃烧国家重点实验室 湖北 武汉 430074)

摘 要: 基于高温煤气燃烧特点和对煤气燃烧器的要求,本研究提出了一种新型煤气燃烧器,并建立了冷态试验台架,利用等温模化方法将燃烧器内部结构及运行工况对流场分布的影响进行了冷态试验。试验表明:叶片的旋流角度为 60° 时比 45° 和 30° 时产生的旋流强度大,有利于高温煤气与配风在燃烧室内的旋流混合效果,但同时旋流衰减也在加快;此外,具有 8 个叶片的燃烧器比 6 叶片燃烧器的旋流效果好,但流场阻力大;中心风量从额定工况的 0.8 倍增加到 1.2 倍时,旋流对直流的影响减弱,有利于火焰形状的改变;叶片到喷口的距离从 65mm 减小到零时,旋流效果变的明显,有利于气流混合。冷态试验结果对该燃烧器的优化设计和进一步热态试验提供借鉴和参考。

关 键 词: 煤气燃烧器; 叶片; 旋流角度; 中心风量; 冷态试验; 流场分布

中图分类号: TK223 文献标识码: A
符号说明

V_z ——轴向速度 m/s ;
 V_x ——径向速度 m/s ;
 V_y ——切向速度 m/s ;
 X/R ——截面距轴向中心线的距离与燃烧器出口半径之比;
 Z/D ——截面距出口的距离与燃烧器出口直径之比。

引 言

现阶段我国回转窑主要使用煤粉燃烧器,但由于煤质多变,且燃烧效果差、余热利用程度低等原因造成我国回转窑平均热效率不足 40%,与国外先进水平的 55% ~ 60% 差距明显^[1~2]。例如工程中采用多通道煤粉燃烧器燃用无烟煤时,最高燃烧效率约为 92%,故燃料对于回转窑燃烧关系重大。鉴于此,本研究提出了流化床超高温烟气发生技术,结合流化床高温烟气炉技术与煤气化技术,采用超高温烟气发生工艺可在理论上解决流化床高温烟气炉产生的高温烟气不能超过 $1\ 200^\circ\text{C}$ 这一瓶颈。

超高温烟气发生工艺中,研制适合于该工艺特

点的燃烧器是实现工艺最终效果的关键。本工艺中高温煤气、高温含氧烟气温均在 $800 \sim 900^\circ\text{C}$,送入燃烧室燃烧之前是不允许混合的,否则会出现回火,甚至爆炸,故不能采用预混式,而只能采用扩散式燃烧。直流扩散最大的缺陷在于气流混合效果差,而旋转射流可以通过产生切向和径向速度来促使混合加剧,极大改善直流混合的缺陷,从而使燃烧更充分。本研究通过实验台冷态模化试验,研究了叶片特性和中心风量对燃烧器出口流场分布的影响。

1 试验装置及方法

1.1 试验装置及测量工具

本研究采用双通道扩散式燃烧器,高温煤气通过燃烧器内管直流喷出,高温烟气通过燃烧器外管经过旋流叶片喷出,两股气流进行混合燃烧形成超高温烟气,同时保证与燃烧器连接的窑炉内温度均匀,无烧结发生。根据冷态模化原理,按照 2:1 的实物模型比,建造了总长 2 m 的冷态试验台架,其具体结构尺寸为:内管出口直径 0.115 m,外管出口直径 0.225 m。台架系统主要由罗茨风机、送风管道、燃烧器主体模型、可拆换旋流叶片及五孔探针测量系统组成。内管和外管风速通过已经过标定的笛形管测速装置和手动蝶阀控制,用五孔探针、三维位移坐标架及 AXD540 电子微压计组成测量系统,测量燃烧器出口区域的三维速度场分布特性,如图 1 所示。

为详细了解燃烧器出口流场的分布特性,在燃烧器出口布置 15 排测点(图中点示意)。测点布置在整个流场范围,靠近出口处速度梯度较大,测点布置较密,两点间轴向距离为 2 cm,径向距离为 1 cm;而五排之后两点轴向距离增大为 5 cm,径向距离增大为 2 cm。由于燃烧器是轴对称旋转结构,所以只需测量中心轴线一侧测点。

收稿日期: 2012-03-19; 修订日期: 2012-05-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51021065 50876036); 国家重点基础研究专项经费基金资助项目(2010CB227003)

作者简介: 严 阵(1986-) 男,湖北武汉人,华中科技大学硕士研究生。

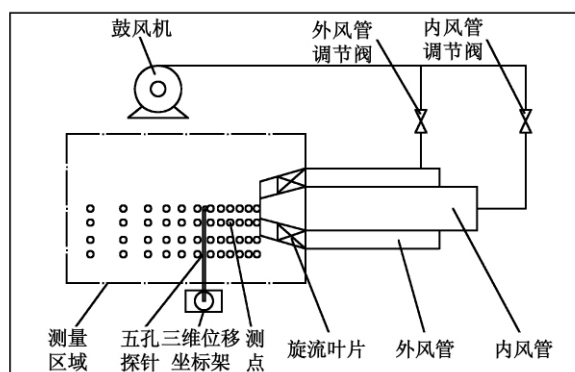


图1 燃烧器冷态测量试验系统

Fig. 1 Cold-state measurement and test system of a burner

1.2 试验工况设计

旋流叶片数量、旋流叶片角度、旋流叶片到喷口的距离是影响旋流产生的主要结构因素,而中心直流风速的大小影响中心内部的回流区,也影响中心直流和外部旋流的混合效果。根据文献[3~4]中燃烧器叶片角度及间距设计经验,设计了以下8种试验工况,如表1所示。

表1 试验工况

Tab. 1 Operating conditions under the test

工况	旋流叶片数量/个	旋流叶片角度/(°)	叶片到喷口距离/mm	中心风量/%
1	8	30	0	100
2	8	45	0	100
3	8	60	0	100
4	6	45	0	100
5	6	45	0	80
6	6	45	0	120
7	8	45	35	100
8	8	45	65	100

2 结果与分析

2.1 旋流叶片角度对流场分布特性的影响

工况1~工况3在 $Z/D=0.75$ 截面的轴向、切向、径向速度比较如图2(a)~图2(c)所示,在距离喷口较近时,轴向速度比较大,切向和径向速度相对很小,之后轴向速度衰减明显,而切向和径向速度变化较大,尤其是经过旋流叶片喷出射流的区域更为剧烈。轴向速度主要受直流风的影响,在 $Z/D=$

0.75截面,由于距离喷口较近故差别不大。由图2(b)和图2(c)可知,旋流角度对切向和径向流动有明显的影响,旋流角度越大,切向和径向速度越大,而切向和径向的速度能够加强煤气和烟气的混合,越大说明此处的旋流和直流混合越强烈。

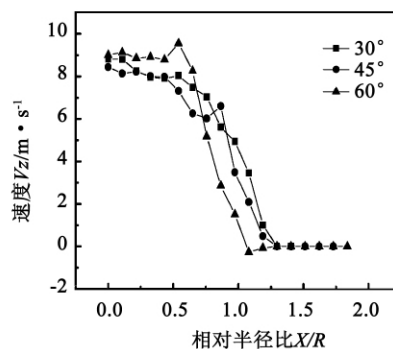
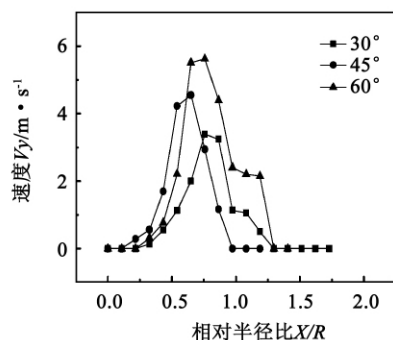
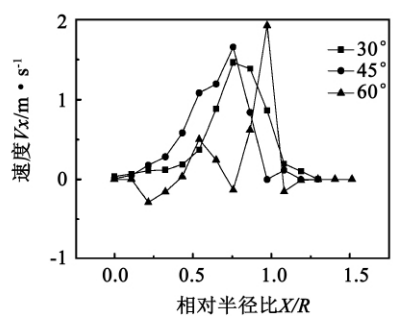
(a) 旋流叶片角对轴向速度分布的影响 ($Z/D=0.75$)(b) 旋流叶片角对切向速度分布的影响 ($Z/D=0.75$)(c) 旋流叶片角对径向速度分布的影响 ($Z/D=0.75$)

图2 轴向、径向、切向速度分布特性

Fig. 2 Axial, radial and tangential velocity distribution characteristics

2.2 旋流持续效果的比较

不同旋流角度下流场典型截面的轴向速度分布特性如图3(a)~图3(c)所示,截面距喷口的距离(Z)与燃烧器喷口直径之比(D)分别为0.5、0.75、1.5、2.5、5。由图可知,在径向方向,总体上速度是

逐渐下降的;然而,在 $X/R=0.4 \sim 1.0$ 区域时,由于旋流叶片的作用,旋流和直流混合加强,使轴向速度明显变大,而且旋流叶片角度越大,旋流作用的径向区域越靠近中心,而对中心直流的扰动和混合也相应越强,对中心直流的轴向速度加强作用就越大。

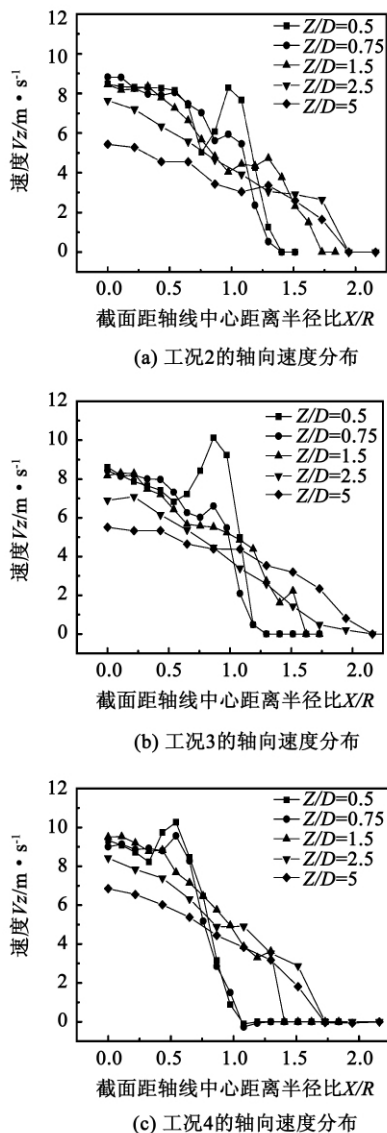


图3 不同工况下轴向速度分布

Fig. 3 Axial velocity distribution on various conditions

当旋流叶片角度为 60° 时,燃烧器出口附近速度衰减较快,到 $Z/D=1.5$ 截面时,旋流效应对轴向速度的加强无明显作用,这是因为旋流角度为 60° 时旋流强度最大,更加强烈地卷吸了周围的空气,受到的扰动也越大,但旋流的持续时间越短,所以叶片旋流角度过大时仅对射流初期混合强化有益,而对窑内流场的均匀分布无明显作用。

2.3 旋流叶片数量对流场的影响

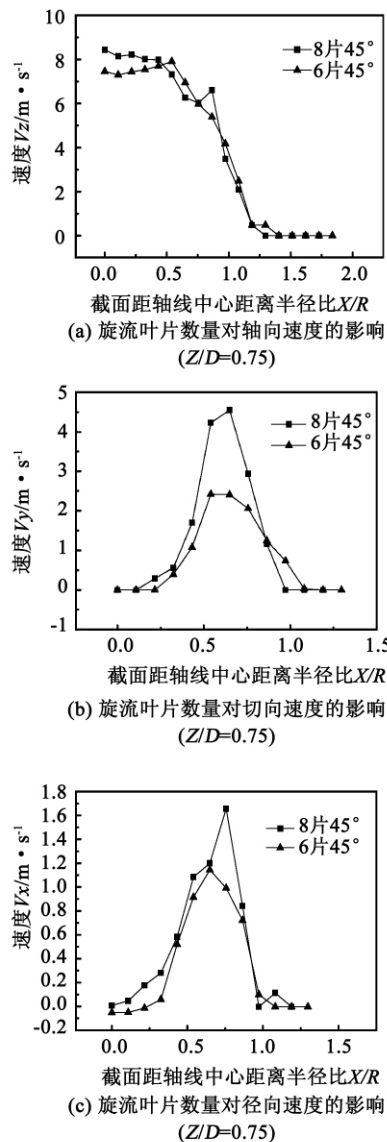


图4 旋流叶片数量对轴向、切向、径向速度的影响

Fig. 4 Effect of the number of the swirling blades on the axial, tangential and radial velocity

旋流叶片数量不同时,燃烧器出口的流场特性如图4(a)~图4(c)所示。因中心轴向速度主要受直流风的影响,变化不明显,而在 $X/R=0.4 \sim 1.0$ 范围,即旋流作用区域内,叶片数量对于流场的影响较明显。随着旋流叶片的增加,燃烧器内切向和径向速度增大,旋流强度相应增大,气流混合加强。然而,旋流叶片并非越多越好,旋流叶片增加使得流场内阻力也相应增大,而增加系统能耗,不利于系统经济性的提高。在离出口较远的截面则无明显差别,是由于旋流作用的持续时间有限的缘故。

2.4 直流风量大小对流场的影响

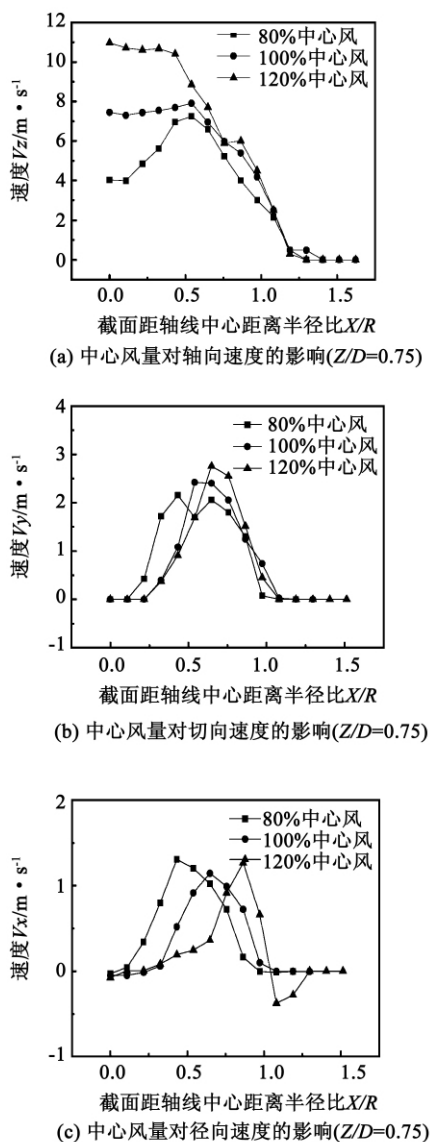


图5 中心风量对轴向、切向、径向速度的影响
Fig.5 Effect of the central air quantity on the axial, tangential and radial velocity

中心直流风量大小的改变直接影响到中心直流与外部旋流的质量流量比。工况4~工况6在 $Z/D=0.75$ 截面的轴向、切向、径向速度比较如图5(a)~图5(c)所示。由图5(a)可知,不同工况下的轴向速度主要由中心风速度决定。1.2倍额定工况的中心风时,外围旋流对中心直流无明显影响,但随着中心风量的减小,旋流对直流影响的逐渐增加。然而,中心直流风量的变化对于切向和径向速度的影响较弱。在 $X/R=0.75$ 截面处时,旋流风带动中心直流风运动,使轴向速度比中心处更大。径向和切向的速度变化线都反映了中心直流风速越大,使外

管旋流的作用区域向外扩展,混合边界也同时外移。在中心风较小时,外周风的切向作用效果越来越靠近中心,而当中心风过大,外周风作用范围逐渐向外侧移动。因此,在实际运行过程中,调整中心风和外周风的风量之比,对于调整火焰形状,以适应烘焙物料,改善燃烧效果作用非常明显。

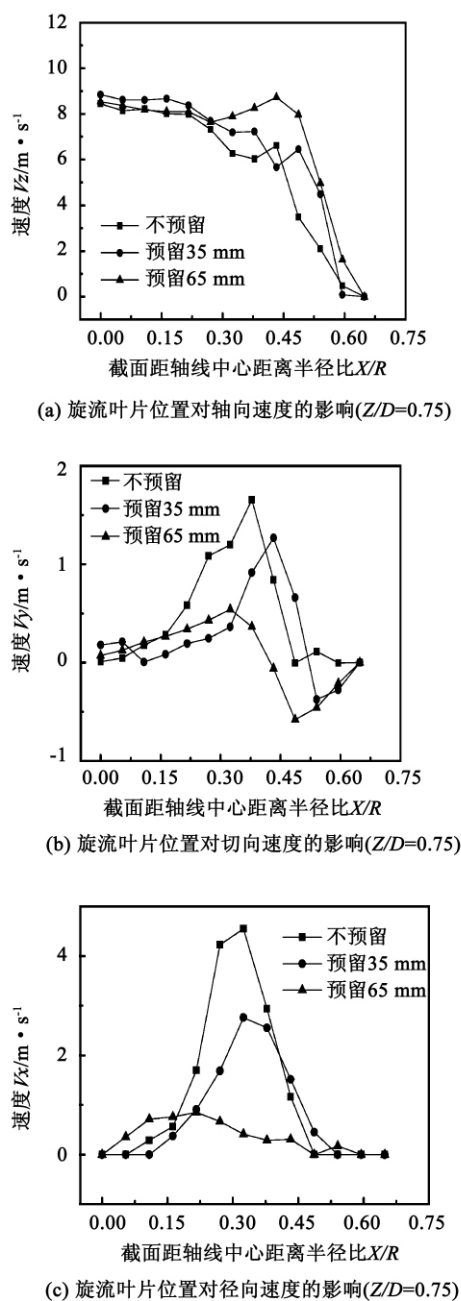


图6 旋流叶片位置对轴向、切向、径向速度的影响

Fig.6 Effect of the location of the swirling blades on the axial, tangential and radial velocity

2.5 旋流叶片位置对流场的影响

工况 2、工况 7、工况 8 在 $Z/D = 0.75$ 截面的轴向、切向、径向速度比较如图 6(a) ~ 图 6(c) 所示。从图中可看出,旋流叶片位置对轴向速度无明显影响,尤其是靠近中心射流的区域。然而,沿半径方向,工况 2(叶片到出口无预留距离)的旋流加强比预留一定距离要明显,而且预留距离越大,旋流加强越小;切向速度反映出相同的规律。可知,旋流叶片距离出口的距离对流场影响非常明显,实际运行中移动旋流器的位置能够极大改变火焰的形状,改变流场的分布。

3 结 论

(1) 旋流叶片角度为 60° 时比 45° 和 30° 时产生的旋流强度大,旋流与直流混合效果更好,旋流作用区域更靠近中心。

(2) 旋流叶片数量会影响旋流强度大小,具有 8 个叶片的燃烧器比 6 叶片燃烧器的旋流效果好、混合性能强。

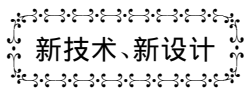
(3) 中心直流风速对于流场影响较大,当中心风从额定工况的 0.8 倍升到 1.2 倍时,旋流对直流的影响逐渐减弱。

(4) 当叶片到喷口的距离从 65 mm 减小零时,旋流作用越来越明显,切向和径向速度更变大,更容易促使外管旋流与内管射流进行混合。

参考文献:

- [1] 江旭昌. 回转窑煤粉燃烧器的发展趋势 特点及选择(一) [J]. 新世纪水泥导报, 2008, 14(1): 13-18.
JIANG Xu-chang. Development tendency, features and selection of rotary kiln pulverized coal burners (Part I) [J]. Cement Guide For New Epoch, 2008, 14(1): 13-18.
- [2] 李超. 新型低压低热值煤气燃烧器研制[J]. 冶金动力, 2003(5): 1-2.
LI Chao. Development of a new type low pressure and low heating value coal gas burner [J]. Metallurgical Power, 2003(5): 1-2.
- [3] 宗润宽, 卢泽, 苏艳霞, 等. 五孔球探针旋流场测量的应用方法与误差探讨[J]. 实验室研究与探索, 2004, 23(5): 29-32.
ZONG Run-kuan, LU Ze, SU Yan-xia, et al. Application method for measuring a rotary flow field by using five-hole spherical probes and exploratory study of its errors [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2004, 23(5): 29-32.
- [4] Hubner A W, Tummers M J, Hanjali K, et al. Experiments on a rotating-pipe swirl burner [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2003, 27(4): 481-489.

(陈 滨 编辑)



新技术、新设计

汽轮机通流部分利用蒸汽冷却的高温部件热力状态的计算

据《Теплоэнергетика》2011 年 9 月刊报道,俄罗斯列宁格勒金属工厂和圣彼得堡国立技术大学的专家对汽轮机通流部分利用蒸汽冷却的高温部件热力状态的各种计算方法进行了详细的分析和研究。

超临界和超超临界(温度 $600 \sim 700^\circ\text{C}$) 汽轮机结构与汽轮机通流部分最热和部件强制冷却的必要性有关。高压和中压转子最热区段冷却可以延长转子的寿命并提高汽轮机工作的可靠性。

提供了超临界汽轮机双分流中压缸通流部分利用蒸汽冷却的区段热力状态的三维数值计算结果。计算结果表明,在轮盘端面和转子表面上金属温度周向不均匀性可以忽略不计。

给出了转子热力状态三维模拟的问题及其计算方法、强制蒸汽冷却系统的原始构造及其参数、喷嘴强制蒸汽冷却系统结构的轴对称近似算法及其与三维方法的比较、无喷嘴强制蒸汽冷却系统结构的轴对称近似算法及其与三维方法的比较。

(吉桂明 摘译)

vaporizer tube bundles ,forcing the exhaust flue gas temperature and loss of the boiler to go up ,the steam production capacity to drop and the superheated steam temperature to rise. To burn fuel oil with a low heat value will make the superheated steam temperature of the boiler to go up. **Key words:** supercharged boiler ,comprehensive test ,thermal effectiveness coefficient ,steam temperature ,exhaust flue gas temperature ,exhaust flue gas loss

蓄热式燃烧技术在冷凝式燃气锅炉上的应用 = Application of the Regenerative Combustion Technology in Condensing Type Gas-fired Boilers [刊 ,汉]/ZHANG Xi-lai(Xi' an Thermotechnical Research Institute Co. Ltd. ,Xi' an ,China ,Post Code: 710032) ,JIN Shi-ping ,HUANG Su-yi (National Key Laboratory on Coal Combustion ,Central China University of Science and Technology ,Wuhan ,China ,Post Code: 430074) ,GE Jing-peng (Jiangsu Yanxin Science and Technology Group ,Jiangyin ,China ,Post Code: 214426) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 ,27(6) . - 684 ~ 689

The flue gases of natural gas and other hydrocarbon fuels contain a great amount of steam after their combustion. To lower the temperature of the flue gases to any temperature below the condensation temperature of the steam can recover the latent heat of the steam during condensation and the thermal efficiency of a boiler can exceed 100% as calculated according to the low heating value. The heat balance calculation results show that it is possible to recover the latent heat for condensation of flue gases by using combustion-supporting air. However ,the temperature of the flue gases at the inlet has an upper limit value. To use the heat accumulation type combustion technology for gas-fired boilers can lower the temperature of the flue gases below the condensation temperature. The shorter the direction change period ,the higher the thermal efficiency. When the direction change period lasts 20 seconds ,the thermal efficiency can be up to 106.7% . The staged combustion of air can make the NO_x emissions level reduced to around 46 mg/Nm^3 (6% O_2) and the fluid for condensing the flue gases can adsorb 14.3% of the NO_x in the flue gases.

Key words: regenerative combustion ,condensing type boiler ,condensing heat accumulation ,low NO_2 combustion

叶片特性和中心风量对一种煤气燃烧器冷态流场的影响 = Influence of the Blade Characteristics and Central Air Quantity on the Cold-state Flow Field of a Coal-gas Burner [刊 ,汉]/YAN Zhen ,LI Kun ,ZHANG Shi-hong ,CHEN Han-ping (National Key Laboratory on Coal Combustion ,Central China University of Science and Technology ,Wuhan ,China ,Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 ,27(6) . - 690 ~ 694

Based on the specific features of the combustion of high temperature coal gas and its requirements for coal gas burners, presented was a novel type coal-gas burner with a cold-state test rig being set up. A cold-state test was performed of the influence of the inner structure of the burner and the operating conditions on the flow field distribution by employing an isothermal modeling method. The test results show that a bigger swirling intensity will be produced when the swirling angle of the blades is set at 60 degrees than those when it is set at 45 degrees and 30 degrees, favorable for the swirling flow mixing effectiveness of the high temperature coal-gas and the air supplied in the combustion chamber and at the same time also quickening the attenuation of the swirling flow. Furthermore, the swirling effectiveness of a burner with 8 blades is better than that of a burner with 6 blades, however, a bigger resistance may result in the flow field. When the central air quantity increases from 0.8 times provided under the rated operating condition to 1.2 times, the influence of the swirling flow will be weakened on the straight flow, contributing to changing the shape of the flame. When the distance from the blades to the spout is reduced from 65 mm to 0 mm, the swirling effectiveness will become conspicuous, favorable for mixing various gas flows. The cold-state test results can offer reference for the optimized design and further hot-state test of the burner. **Key words:** coal-gas burner, blade, swirling angle, central air quantity, cold-state test, flow field distribution

低热值煤层气部分预混式旋流燃烧器结构优化研究 = Study of the Structural Optimization of a Partially Pre-mixed Type Swirling Burner Burning the Coal Bed Gas With a Low Heat Value [刊, 汉] / YANG Xin, ZHANG Li, YANG Zhong-qing (Education Ministry Key Laboratory on Low Quality Energy Source Utilization Technologies and Systems, College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(6). - 695 ~ 701

For a partially premixed type swirling burner burning the coal-bed gas with a low heating value, optimization studied was its structure by additionally installing a bluff body on it and investigated was the law that the bluff body influences the speed, temperature and distribution of the methane concentration at the outlet of the burner by using a numerical analytic method. It has been found that to additionally install a bluff body onto the outer wall of the fuel gas tube can improve the partially premixing effectiveness of the burner and shorten the length of the flame. To additionally mount a bluff body at the outlet of the supporting tube can enhance the jet flow rigidity of the gas flow at the outlet of the burner, making the in-furnace temperature distribution tend to be uniform and at the same time enhance the capacity and area of the flow return zone to entrain the high temperature flue gas, thus forming a stable high temperature zone at the outlet of the spout. To partially optimize the burner by additionally install two pieces of bluff body can achieve good combustion stability at the same time of ensuring a rigidity of the jet flow of the optimized