

排气管偏置对 CFB 锅炉旋风分离器性能的影响

彭 雷¹, 李 军¹, 王国鸿²

(1. 西安交通大学 能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049;

2. 东方锅炉(集团)股份有限公司设计处, 四川 自贡 643001)

摘 要: 通过冷态模化试验, 研究了排气管偏置对 CFB 锅炉旋风分离器主要性能的影响。试验结果表明, 排气管偏置对旋风分离器分离效率有明显的提高, 而分离器阻力总体下降。因此, 采用合适的排气管偏置结构, 是改善旋风分离器性能的有效方法之一。

关 键 词: 排气管偏置; 分离效率; 分离器阻力; 旋风分离器; 循环流化床锅炉

中图分类号: TK223.1 文献标识码: A

1 前 言

分离器是构成 CFB 锅炉循环燃烧回路的重要部件之一, 其工作性能不仅影响炉内的燃烧过程、传热过程及脱硫过程, 而且也对锅炉对流受热面的传热、磨损等产生直接的影响。所以, 分离器性能优化一直是发展 CFB 锅炉的一项关键技术。

结构因素是影响旋风分离器工作性能的重要方面, 多年来人们借助理论分析和试验研究, 对旋风分离器各组成部分的结构进行不断优化, 使其工作性能不断得到改善。但笔者注意到, 在公布的资料中, 几乎无人对旋风分离器排气管中置结构提出过异议, 目前使用的旋风分离器无一例外皆采用中置式排气管。

本研究拟通过冷态模化试验, 对排气管偏置进行初步探索, 为优化旋风分离器工作性能提供新的思路。

2 试验设备及测试方法

试验系统如图 1 所示, 主要由螺旋给料机、气固混合管段、模型旋风分离器、分离灰收集装置、引风机、流量及压降测量装置等组成。考虑到实际的

CFB 旋风分离器皆工作于负压条件下, 试验系统亦采用负压系统。具有一定粒度的固体颗粒和空气在混合管段进行充分混合后进入模型旋风分离器, 在离心力的作用下绝大部分颗粒被分离捕集, 气体及少量未被分离的颗粒通过引风机排入大气。

试验用模型旋风分离器结构及尺寸如图 2。系以某 CFB 锅炉旋风分离器为原型缩制而成。

旋风分离器里的流动属于稀疏气固两相流动。根据气固两相流动规律和模化原则, 在试验装置的设计、固体物料的选择及试验工况的选取中主要考虑的准则数为 Stk 和 Re 。由于试验条件的限制, Stk 准则完全相等很难达到, 故在试验设计时, 使模型和原型的 Stk 准则尽量接近。经测定, 在本试验的 Re 范围内, Eu 数不再与 Re 相关而保持为定值, 即已进入第二自模化区, 因此可不考虑 Re 准则相等的限制。

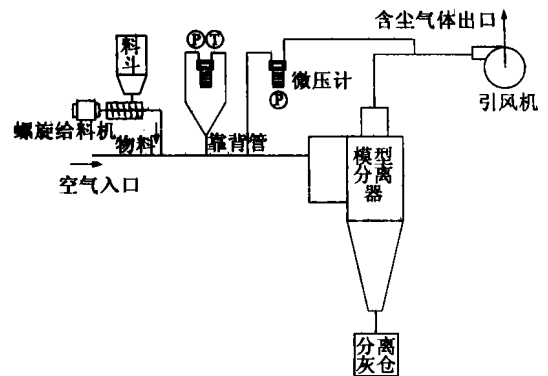


图 1 试验系统图

试验测点布置如图 1 所示, 测量内容主要包括入口风量、风温、分离器进出口静压差、给灰量和捕集分离的灰量。测量仪器主要有热线风速仪、电子微压计、靠背管等。

收稿日期: 2003-05-06; 修订日期: 2003-11-03

作者简介: 彭 雷(1974-), 四川自贡人, 现任东方锅炉(集团)股份有限公司工程师, 工程硕士。

风量测量先使用热线风速仪用等截面法标定入口通道上的靠背管; 试验时用电子微压计测量靠背管压差计算得到风量。电子微压计也能测量入口通道空气温度。分离器阻力通过测量分离器前后静压差, 加上计算动压差而得到。

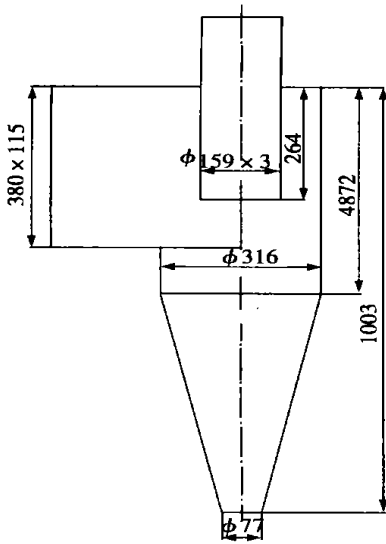


图2 模型分离器结构及尺寸

试验用固体物料为 < 1.2 mm 的链条锅炉分离灰, 有较广的粒径分布。其平均粒径为 0.3 mm。试验时固体物料由螺旋给料机提供。试验中可根据需要通过无级调速器调节给料机转速对给料量进行控制和调节。被分离捕集的灰用电子称称重。

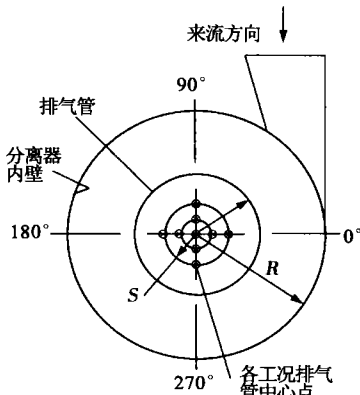


图3 旋风分离器排气管偏置位置

试验工况如表1所示共有9个, 排气管偏置位置如图3所示, 表1中的相对偏心距 L 定义为 $L = \frac{S}{(R-r)}$ 。各工况的其它试验条件相同。

表1 试验工况表

偏置方向	相对偏置距 L	其它试验条件
0	0	分离器进口风速: 14.42 m/s 颗粒平均粒径: 0.3 mm 颗粒密度: 1400 kg/m ³ 进口颗粒浓度: 0.021 kg/m ³
0	0.127	
0	0.255	
90	0.127	
90	0.255	
180	0.127	
180	0.255	
270	0.127	
270	0.255	

3 试验结果及分析

3.1 排气管偏置对分离效率的影响

偏置对分离效率的影响如图4、5所示。

由图4可见, 在试验的偏心距范围内, 排气管偏置的8个工况较之排气管中置工况分离效率提高了5.1% ~ 10.8%; 而当排气管偏置方向为180°时, 分离器的分离效率最高。

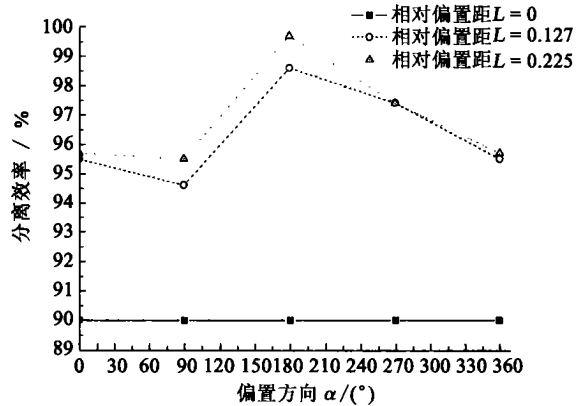


图4 排气管偏置不同方向时的分离效率

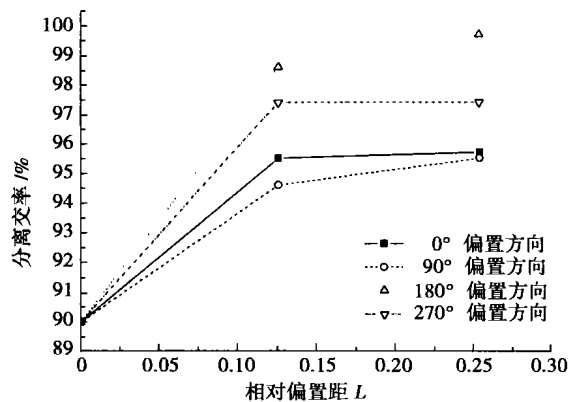


图5 排气管偏置不同距离时的分离效率

由图 5 可见,在试验的 4 个偏心方向,随偏心距增加,分离效率整体呈增加趋势;但在不同相对偏心距范围,分离效率增加幅度差别较大; $L = 0.127$ 时 4 个工况较之排气管中置的分离效率提高 $5.1\% \sim 9.6\%$;而 $L = 0.255$ 时分离效率较 $L = 0.127$ 时提高甚微,个别工况几乎没有变化。

这种分离效率随排气管偏置位置而变化的情况,与旋风分离器内部流场有密切的关系。分离器偏置后,偏向处的流通截面变小,此位置的流动先加速后减速,使更多的固体颗粒被甩向壁面而被分离,分离效率得以提高。切向入口旋风分离器内部漩涡中心和分离器几何中心是不一致的。据文献[1],分离器在排气管中置工况中, $90^\circ \sim 180^\circ$ 方向紧靠排气管外壁形成有离体漩涡区。M. Trefz 通过在 105° 方向偏置偏心率 $e = \Delta r/r$ 入口 = 0.2 的排气管,基本消除了此漩涡区。因此,排气管偏置有利于破坏影响分离的离体漩涡区。特别是向此离体漩涡区的偏置,更有助于改善分离器内部流场而提高分离效率。同时,向 180° 的偏置使进入的颗粒更加远离中心筒,增加了颗粒穿透能力,减少了颗粒形成上灰环被夹带排出的可能。所以 180° 的偏置带来的效率提高最显著。但继续增大相对偏心距 L 后,排气管偏置对颗粒运动的影响程度将减小,故效率的提高程度也减小了。

从排气管偏置后的分离效率数据可以看出,偏置后的分离效率改善明显,且在 180° 附近效率的提高最大。

3.2 排气管偏置对分离器阻力的影响

偏置对分离器阻力的影响如图 6、7 所示。

由图 6 可见,在试验偏心范围内,相同偏置距离下的分离器阻力基本与分离效率的变化相一致。且有四分之三试验工况的分离器阻力明显低于排气管中置时的分离器阻力。排气管偏置工况为 $L = 0.255$, $\alpha = 90^\circ$ 时,分离器的阻力最低,比中置时阻力下降了 8.5% 。在 90° 到 270° 的偏置方向上,不同偏置距离下的分离器阻力结果均以 180° 为最大值。但排气管偏置方向变化到 0° 时,分离器阻力却出现约 13.5% 的大幅度异常上升。

从图 7 可更明显地看出排气管偏置后分离器阻力的下降情况。随着排气管偏置距离的增大,除 $\alpha = 0^\circ$ 偏置工况下偏置距离 L 增大后阻力急剧上升外,分离器阻力水平都有较明显的下降。其中 180° 方向在 $L = 0.255$ 时比 $L = 0.127$ 时下降了约 6.3% ,幅度最大。

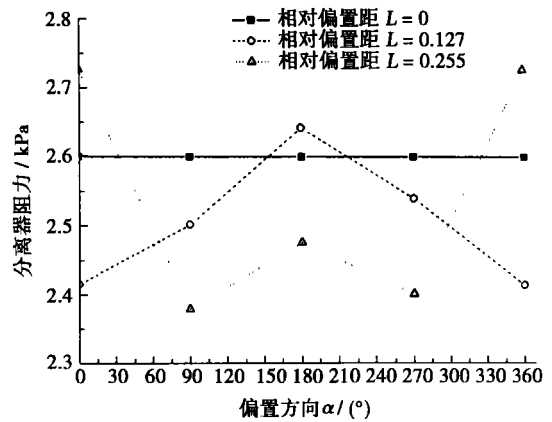


图 6 排气管偏置不同方向时的分离器阻力

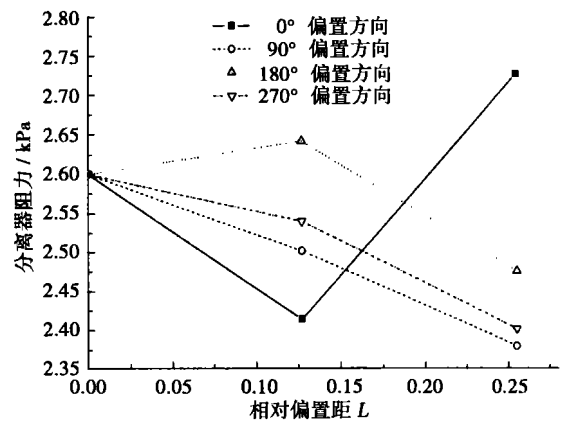


图 7 排气管偏置不同距离时的分离器阻力

结构相似的情况下,提高分离效率一般需要消耗更多的能量,因此相同偏置距离下阻力变化基本与分离效率变化相一致。而增大偏置距离后分离阻力反而下降则是因为排气管偏置距离增大后对分离器内部流场的改善效果更加显著。所以在提高分离效率的同时阻力反而下降,提高了旋风分离器的经济性。

从文献[1]中 M. Trefz 试验得到的分离器偏置前后排气管外壁处的流线图也可以看出:在排气管偏置前排气管外壁流线显示在该位置存在切向流动;而偏置后排气管外壁流线却基本平行,未发现明显的切向流动。故排气管偏置后,分离器流场的确得到改善,这也使颗粒对排气管的磨损有所改善。

在 $L = 0.255$, $\alpha = 0^\circ$ 偏置工况上出现阻力的异常增大,这主要是因为偏置使入口截面大幅度减小造成的。从文献[3]提供的旋风分离器阻力与入口截面宽度的关系可以看出,入口截面的宽度对分离器阻力影响很大。由于分离器入口处阻力在分离器总阻力中占有相当份额,而入口处排气管偏置距离

加大后使入口截面有较大的收缩,引起分离器入口阻力激增。同时,由于此处正处于进口位置,分离器内流通截面的减少使入口气流对分离器内部漩涡场的影响更大,这在一定程度上也加大了阻力损失。由于这些因素影响,使整个分离器阻力急剧升高。

因此,排气管偏置后,除入口 0° 外,其他方向上的偏置均减小了阻力。

4 结 论

(1) 旋风分离器排气管偏置对分离器主要性能(分离效率、分离器阻力)都有显著影响。相对排气管不偏置,偏置以后分离效率有了 $5.1\% \sim 10.8\%$ 的明显提高,而阻力(能耗)总体也有明显下降,最大下降幅度达到 8.5% 。

(2) 不同偏置方向的试验结果表明, 180° 附近的排气管偏置设计,是改善旋风分离器性能较为经济有效的方法。

(3) 超过一定的范围后,偏置距离的增大对分离效率影响将不大明显,但对分离器阻力仍有一定

影响。

由于关于旋风分离器排气管偏置的研究工作在国内外进行还较少,因此对排气管偏置更深入的机理和最佳结构等方面还有很多需要进一步深入研究的问题。本试验作为此领域的探索性研究,希望能对这方面的工作有所帮助。

参考文献:

[1] MUSCHELKAUTZ U, MUSCHELKAUTZ E. Special design of inserts and short entrance ducts to recirculating cyclones[A] . **circulating fluidized bed technology V** [C] , Beijing P R China: Science Press, 1997, 597—602.

[2] 李之光. 相似与模化(理论与应用)[M] . 北京: 国防工业出版社, 1982.

[3] 岑可法, 倪明江, 骆仲泱, 等. 循环流化床锅炉理论设计与运行[M] . 北京: 中国电力出版社, 1998.

[4] JOHN ABRAHAMSON, ROGER JONES, ANDY LAU, et al. Influence of entry duct bends on the performance of return-flow cyclone dust collectors[J] . **Powder Technology**, 2002, **123**: 126—137.

[5] AVCI A, KARAGOZ I. Theoretical investigation of pressure losses in cyclone separators[J] . **Int Comm Heat Mass Transfer**, 2001, **28** (1): 107—117. (渠 源 编 辑)

(上接第 147 页)

5 结 论

应用火焰图像的处理和分析技术,对瓦斯湍流扩散火焰几何尺寸进行了详细研究,得到了多喷孔外混式烧嘴的结构和燃气中氢气含量对火焰尺度的影响规律。

随着喷孔总面积的增大,火焰长度明显增大,并变得更加细长;随着上层喷孔位置角的增大,火焰长度有所降低,同时火焰长宽比也随之降低。对于相同的火嘴结构,火焰长度随着燃气流量的增大而增加,随燃气中氢气含量增大而减小,并且火焰长宽比也变小。随过剩空气系数增大,火焰长度减小。

参考文献:

[1] 郑战利. 石油化工管式炉“扩能”技术的研究与应用[J] . 石油化工设备技术, 1999, **20**(6): 23—24.

[2] V. N. KRZYZHANOVSKIY, Improvement of combustion of gaseous and liquid fuels [J] . **Heat Transfer Research**, 1992, **24**(5): 235—242.

[3] GUTAM T. KAIGHATGI, Lift heights and visible lengths of vertical turbulent jet diffusion flames in still air[J] . **Combustion Science and Technology**, 1984, **41**(1): 17—29.

[4] MORCOS V H, ABDEL-RAHIM Y M. Parametric study of flame length characteristics in straight and swirl light-fuel oil burners[J] . **Fuel**, 1999, **78**(8): 979—985.

[5] BLAKE T R, MCDONALD M. An examination of flame length data from vertical turbulent diffusion flames[J] . **Combustion and Flame**, 1993, **94**(4): 426—432.

[6] 袁理明. 二维线性湍流浮力扩散火焰高度[J] . 中国科学技术大学学报, 1997, **27**(1): 80—83.

[7] 陈树义, 章丽玲. 燃料燃烧及燃烧装置[M] . 北京: 冶金工业出版社, 1985.

[8] BAGSTER D F, SCHUBACH S A. The prediction of jet-fire dimensions[J] . **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 1996, **9**(3): 241—245.

[9] OSAMI SUAGWA, KIKUKO SAKAI. Flame length and width produced by ejected propane gas fuel from a pipe [J] . **Fire Science and Technology**, 1997, **17**(1): 55—63.

[10] FLECK B, BECKER H A, SOBIESIAK A. Ultra-low-NO_x natural gas burner: development and performance [A] . **5th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers**[C] . Porto Portugal: 2000. 11—14.

[11] 段希利, 仇性启, 王宗明. 瓦斯燃烧器回流区测试[J] . 石油化工设备, 2002, **31**(6): 10—12.

[12] 《化工百科全书》编辑委员会编. 化工百科全书[M] . 北京: 化学工业出版社, 1997.

(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