

文章编号:1673-5005(2007)05-0083-04

导叶式旋风管排气管内流动减阻的试验研究

杨建国¹, 郭 颖², 王建军², 马庆磊², 金有海²

(1. 山东石大科技集团, 山东 东营 257061; 2. 中国石油大学 机电工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:通过对导叶式旋风管内流动参数的测量分析,发现排气管内气流旋转强度高,并存在“滞流”、“倒流”及逆压梯度等无益于颗粒分离的流动状态,造成排气管内压力损失约占旋风管总压降的 22%。在排气管内安装框形结构后,可有效削弱和抑制上述耗能流动,在保证分离效率基本不变的前提下,使旋风管减阻幅度达到 9%。

关键词:旋风管; 排气管; 流场; 减阻

中图分类号:TQ 051.8 **文献标识码:**A

Experimental study on flow drag reduction of vortex finder in guide vane cyclone tube

YANG Jian-guo¹, GUO-ying², WANG Jian-jun², MA Qing-lei², JIN You-hai²

(1. Shida Science and Technology Group in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;

2. College of Mechanical and Electronic Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: The flow field in the guide vane cyclone tube was measured and analyzed in detail by using the five-hole probe. The results show that the highly rotating flow, reverse flow and contrary gradation of the static pressure in the vortex finder contributed to pressure loss as high as 22% of total pressure drop in the cyclone tube. The part of energy consumption in vortex finder was no use to the particles' separation and should be reduced. When a columniform frame was inserted in the vortex finder, the flow and pressure distribution which leads to energy loss was weakened and damped effectively. So the total pressure drop of the cyclone tube was reduced by about 9% at the same separation efficiency.

Key words: cyclone tube; vortex finder; flow field; drag reduction

导叶式旋风管是催化裂化能量回收系统中第三级旋风分离器(简称“三旋”)的关键部件。为了保证烟气轮机的长周期安全运行,对旋风管的分离效率提出了很高的要求。从目前工业应用情况来看,随着新型旋风管的开发研究,三旋的分离效率不断得到提高,但同时其压降与能耗也呈不断上升趋势。三旋的高能耗一方面严重影响能量回收系统的经济效益,另一方面已经成为影响整个装置平稳运行的不利因素。因此,如何在保证高效的前提下,降低旋风管及三旋的压降是目前亟待解决的一个技术难题。关于旋风分离器节能降耗及流动减阻方面的研究一直受到各国学者的普遍关注,并且已有相关文献报道了在传统型旋风分离器的排气管内安装减阻

结构,如导流叶片、芯管减阻器、中心体等,均取得了不同程度的减阻效果^[1-5]。导叶式旋风管是一种轴流式的旋风分离器,其内部的气固两相流动规律具有自身的特点^[6]。目前,有关导叶式旋风管排气管内流动减阻的研究还少见报道。笔者通过详细的流场参数、压力分布测量及分析,有针对性地开发出一种框形减阻结构,安装在排气管内,在不影响主要分离空间流动分布的前提下,通过调整和改善排气管内的流动状态,实现旋风管的减阻节能。

1 试验装置及方法

试验装置流程如图 1(a)所示。导叶式旋风管用有机玻璃制成,结构尺寸与工业应用的 Shell 型旋

收稿日期:2007-07-02

作者简介:杨建国(1966-),男(汉族),浙江诸暨人,高级工程师,硕士,主要从事设备设计与技术管理工作。

风管完全相同,分离管主直径为 250 mm,排气管直径为 147 mm,分离空间高度为 500 mm。试验装置为负压下操作,用 U 形管压差计测量旋风管的总压

降,用智能型五孔球探针测试仪测量旋风管及排气管内纯气流场的速度及压力参数,测量截面分布如图 1(b)所示。

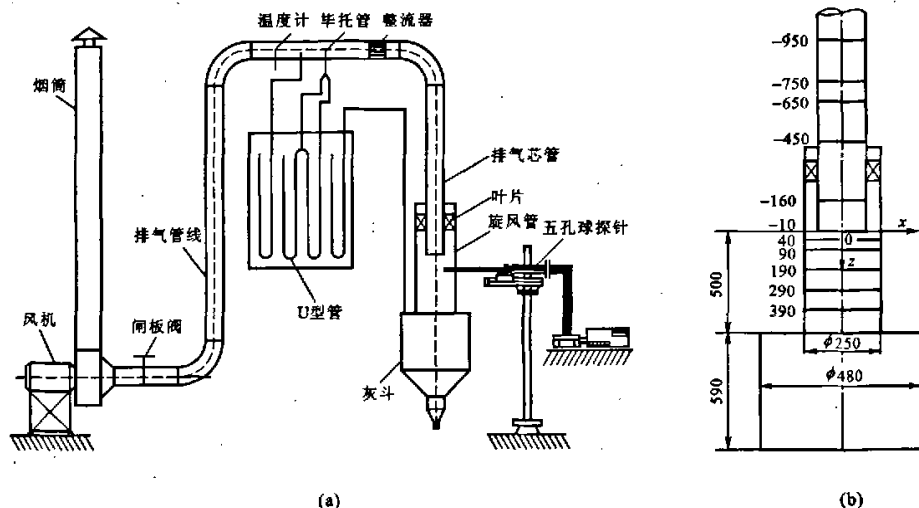


图1 试验装置流程图

2 试验结果分析

2.1 排气管内流动参数的分布规律

以旋风管截面表观风速 v_p 为特征值,分别将流场中的三维分速度及静压值无量纲化。排气管内的各流动参数分布如图 2 所示。由图可知,在排气管内切向速度与分离空间内一样呈“驼峰”形分布(图 2(a)),其数值较大,其中最大切向速度可达到旋风管截面表观风速的 4~5 倍,说明气流在进入排气芯

管后仍具有较高的旋转强度;切向速度的最大值出现在排气管半径的一半位置处。在排气芯管入口附近的截面($z = -10$ 截面)上,切向速度的分布与其在主要分离空间内的分布相似,而随着气流不断上升,在 $z = -160$ 截面上,切向速度峰值开始降低,且沿径向分布趋于平缓;从 $z = -160$ 截面至 $z = -950$ 截面,切向速度曲线基本重合,沿轴向变化不大,表明气流的旋转强度在排气管测量范围内基本没有衰减。

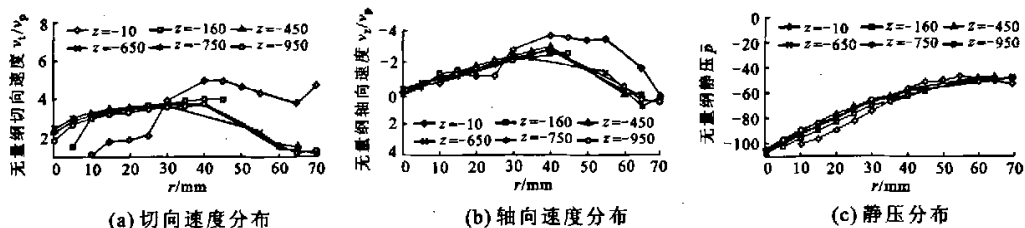


图2 导叶式旋风管排气管内速度和压力的分布

在排气管内,轴向速度大部分是负值,为上行流;沿径向轴向速度的数值先增大后减小,其最大值位置与切向速度的最大位置相同;在边壁附近,轴向速度值为正,表明此区域内为下行流;在中心位置,轴向速度为零,个别截面还出现正值,说明此区域存在“滞流”或“倒流”(图 2(b))。“滞流”或“倒流”的存在,会大大增强气流的流动阻力,使压力损失增加。与切向速度沿轴向的分布规律相似,从 $z = -$

10 截面到 $z = -160$ 截面,轴向速度有较大的变化,数值明显减小;在排气管内,轴向速度沿轴向基本没有衰减,分布规律相同。由此表明,分离空间上升气流在进入排气管后约 100 mm 范围内的流动状态有剧烈的变化。

在排气管内,静压分布很有规律,中心压力低、边壁压力高(图 2(c))。沿排气管轴向存在逆压梯度,即在同一半径位置处,上游压力低、下游压力高。

该逆压梯度是造成轴向速度在排气管轴向区滞流甚至倒流的原因。同时,逆压梯度的存在,增加了排气管内上升气流的流动阻力。

2.2 旋风管内部压力损失分布

图3(a)为旋风管内部气流压力计算截面分布图。将各计算截面上不同测点的压力值对截面面积积分后求平均,可得到计算截面上压力的平均值,包括全

压和静压值(图3(b)),则沿流动方向任意两个截面处的全压差即为流动压力损失。其中,从入口截面*i-i*到*j-j*截面为导向叶片空间;*j-j*到*k-k*截面为入口环形空间;从*k-k*截面到排气管延长圆柱面*n-n*为颗粒捕集分离空间;从*n-n*到排气管的入口处截面*s-s*为涡核区,从*s-s*到排气管出口断面*m-m*为排气管内的流动区域。

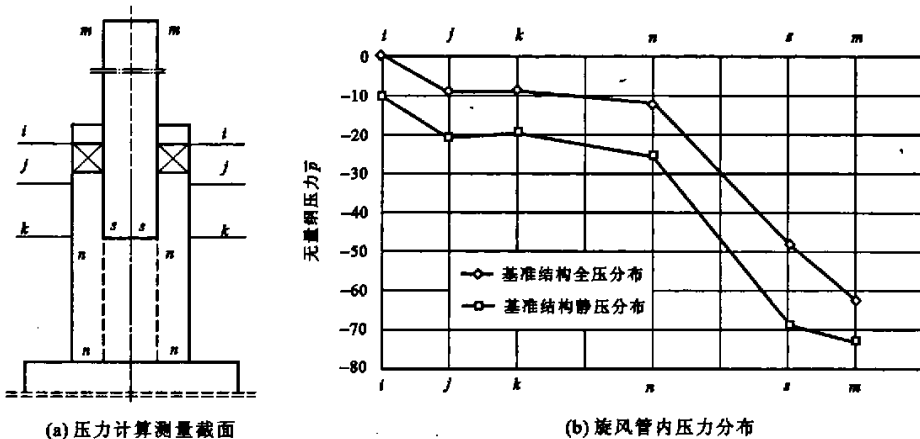


图3 旋风管内部压力分布图

由图可知,导叶式旋风管的压力损失可归纳成3部分:

(1)进口损失,即*i-i*到*j-j*截面之间的压力损失,包括入口截面阻力损失、叶片阻力损失等,占旋风管总压差损失的14.44%;

(2)旋转流场的损失,即*j-j*到*s-s*截面之间的压力损失,包括入口环形空间阻力损失、分离空间外旋流阻力损失、内旋流阻力损失等,占旋风管总压差损失的63.33%;

(3)出口损失,即*s-s*到*m-m*截面之间的压力损失,包括出口截面阻力损失、沿程阻力损失和旋转流动损失,占旋风管总压差损失的22.23%。这部分能耗对分离无益,属于纯能耗。如果采取有效措施将这部分压力损失降低或回收,可实现旋风管的减阻节能。

2.3 排气管内减阻结构对旋风管阻力特性的影响

在流场与压力分布测量的基础上,设计了一种框形结构,由4根圆杆组成($n=4$),杆径为8 mm,杆长 $h=200$ mm,如图4所示。将此框形结构安装在排气管内流动状态有剧烈变化的区域,其对旋风管阻力特性的影响如图5所示。

从图中可以看出,相对于基准结构,安装框形结构后,旋风管阻力特性曲线明显向下偏移,在相同流

量下,旋风管的压降有明显降低。经计算可知,平均减阻幅度达9%。

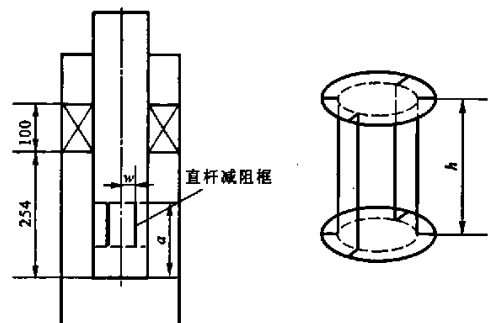


图4 直杆减阻框及其安装示意图

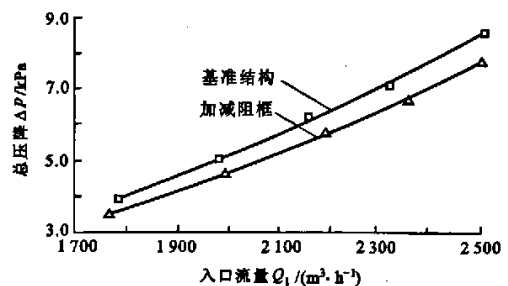


图5 减阻框对旋风管阻力特性的影响

2.4 减阻框对旋风管及排气管内流动分布的影响

为了研究框形结构的减阻机理,对旋风管及排气管内流场进行了对比测量,结果见图 6。由图 6 可知,排气管内安装减阻框后,气流切向速度明显减小,旋转强度降低;轴向速度沿径向分布更趋于均匀;中心区域的静压有明显升高。由此表明,减阻框“干扰”并改变了排气管内的流动状态,由于原先排

气管内的耗能流动得到抑制或消失,导致了旋风管压力损失减小,实现了有效减阻。值得注意的是,安装框形减阻结构后,分离空间内的流动参数变化很小,如图 7 所示。这就保证了气流在主要分离区域仍能基本保持原先的旋转强度,对颗粒的分离作用不会带来不利影响。

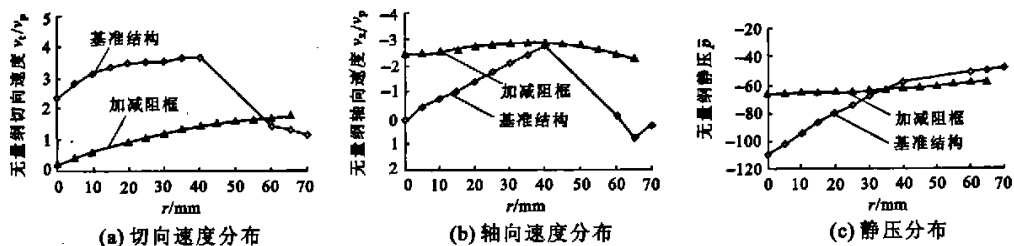


图 6 减阻框对排气管内流动参数分布的影响($z = -750$)

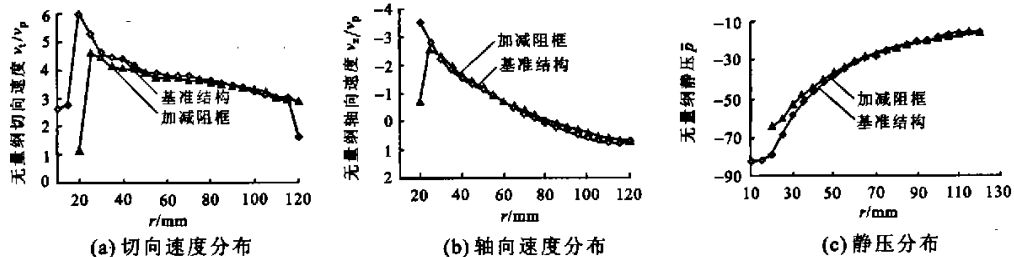


图 7 减阻框对分离空间内流动参数分布的影响($z = 190$)

2.5 排气管内减阻结构对旋风管分离效率的影响

用中位粒径为 $13.32 \mu\text{m}$ 的二氧化硅粉在入口粉尘浓度为 $1\text{g}/\text{m}^3$ 的操作条件下分别对排气管内安装减阻框前后的旋风管分离效率进行测量,在不同入口流量下的对比结果如表 1 所示。

表 1 减阻结构对旋风管分离效率的影响

入口流量 $Q_i/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	分离效率 $\eta/\%$	
	基准结构	安装减阻框
2050	91.3	91.2
2210	92.5	92.5
2380	93.9	93.7

由表 1 数据并结合实验结果可知,在排气管内安装减阻框后,可在保证分离效率基本不变的前提下,实现整个旋风管的流动减阻。

3 结 论

(1) 导叶式旋风管排气管内的流动为强旋流,其阻力损失表现为:切向速度大,旋转强度高;在中心和边壁位置,存在滞流和回流区,流动阻力大;静压沿轴向出现逆压梯度,造成轴向速度在排气管轴

向区滞流甚至倒流,压差阻力增加。

(2) 排气管内压力损失约占旋风管总压差损失的 22%,安装减阻框可使旋风管的阻力损失降低,减阻幅度可达 9%。

(3) 减阻框的作用为:使排气管内切向速度峰值减小,沿径向分布平缓,速度梯度减小;使轴向速度沿径向分布更加均匀,消除或削弱了排气芯管中心位置的回流和滞流;减小了轴向上的逆压梯度,使中心区从逆压梯度变为顺压梯度。同时,减阻框对分离空间内的流动参数分布影响程度非常小,可保证对分离效率基本无影响。

参考文献:

- [1] 李矿林. 导流器对细粉分离器性能影响的实验研究[J]. 能源研究与利用, 1997(13): 13-18.
Li Kuang-lin. Influence of diverter on separating performance of separator[J]. Energy Research and Utilization, 1997(13): 13-18.

(下转第 90 页)

(3) 如果通过进一步的试验,拟合出泄漏声发射信号时频特征随泄漏距离的变化函数,则可以根据这一函数对泄漏点位置进行定位。

(4) 如果将声发射技术应用于集输管线的泄漏检测,需要进一步研究声发射信号在不同管径、不同流体参数下的泄漏信号的衰减规律,并通过提高声发射检测系统的灵敏度及改进传感器的安装方式来采集长输管线上衰减较大的泄漏声发射信号。

参考文献:

- [1] 夏海波,张来斌,王朝晖.小波分析在管道泄漏信号识别中的应用[J].石油大学学报:自然科学版,2003,27(2):78-80.
XIA Hai-bo, ZHANG Lai-bin, WANG Zhao-hui. Application of wavelet transform to signal detection of pipeline leakage[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(2): 78-80.
- [2] 王朝晖,李文苓.管道泄漏检测中实时模型法的研究[J].石油机械,2005,33(4):41-43.
WANG Zhao-hui, LI Wen-ling. The research of real-time model method for pipeline leak diagnosis[J]. China Petroleum Machinery, 2005, 33(4): 41-43.
- [3] 梁伟,张来斌,王朝晖.信息缺失条件下管道泄漏信号识别研究[J].石油大学学报:自然科学版,2004,28(5):74-77.
LIANG Wei, ZHANG Lai-bin, WANG Zhao-hui. Recognition of pipeline leakage signals with incomplete information[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(5): 74-77.
- [4] 王朝晖,张来斌.液体输送管线小泄漏诊断的研究[J].石油机械,2003,31(8):37-40.
WANG Zhao-hui, ZHANG Lai-bin. Research of small leakage diagnostic technique for liquid delivery pipeline [J]. China Petroleum Machinery, 2003, 31(8): 37-40.
- [5] 梁伟,张来斌,王朝晖.液体管道泄漏负压波诊断方法的研究现状及发展趋势[J].管道技术与设备,2004(6):16-19.
LIANG Wei, ZHANG Lai-bin, WANG Zhao-hui. State of research on negative pressure wave techniques applied to leak detection in liquid pipelines[J]. Pipeline Technique and Equipment, 2004(6): 16-19.
- [6] 焦敬品,何存富,吴斌.管道声发射泄漏检测技术研究进展[J].无损检测,2003,25(10):519-522.
JIAO Jing-pin, HE Cun-fu, WU Bin. Advance in acoustic emission techniques for pipeline leak detection[J]. Nondestructive Testing, 2003, 25(10): 519-522.
- [7] 张来斌,杨占才,王朝晖,等.声发射技术用于诊断发动机活塞与缸套间磨损故障实验研究[J].石油大学学报:自然科学版,2001,25(5):60-62.
ZHANG Lai-bin, YANG Zhan-cai, WANG Zhao-hui, et al. Experimental study on engine piston-liner wear fault diagnosis by acoustic emission technology[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2001, 25(5): 60-62.
- [8] 耿荣生,沈功田,刘时风.模态声发射——声发射信号处理的得力工具[J].无损检测,2002,24(8):341-345.
GENG Rong-sheng, SHEN Gong-tian, LIU Shi-feng. Modal acoustic emission: a powerful tool for acoustic emission signal processing [J]. Nondestructive Testing, 2002, 24(8): 341-345.

(编辑 沈玉英)

(上接第86页)

- [2] 刘金红.旋风分离器减阻实验研究[J].化学世界,1995(8):438-443.
LIU Jin-hong. Research on drag reduction of the cyclone separator[J]. Chemical World, 1995(8): 438-443.
- [3] 白崇功.螺旋型减阻器对旋风分离器减阻作用的研究[J].水泥技术,1994(6):6-9.
BAI Chong-gong. Research on screw type resistance damper and its function in cyclone separator[J]. Cement Technology, 1994(6): 6-9.
- [4] GRIFFITHS A J, YAZDABADI P, SYRED N. The use of centre bodies and de-swirl vanes in the exhaust of cyclone dust separators[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1996, 210: 193-203.
- [5] DOHERTY O, BIFFIN T M, SYRED N. The use of tangential offtakes for energy savings in process industries [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1992, 206: 99-109.
- [6] 郭颖,王建军,金有海.轴流导叶式旋风管内气固两相流的实验研究[J].石油大学学报:自然科学版,2005,29(3):96-100.
GUO Ying, WANG Jian-jun, JIN You-hai. Experimental study of gas-solid two-phase flow in axial guide vane cyclone tube[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2005, 29(3): 96-100.

(编辑 沈玉英)