

一种基于差压波动图的段塞流识别方法

梁法春, 王 栋, 林宗虎

(西安交通大学 动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘 要: 在内径为 80 mm 的大型水平实验环道上进行了广泛的空气—水两相流实验, 将采集的一定时间长度的分层、段塞、环状流型的差压波动信号, 显示成二维图像。通过对 30 组差压波动数据分析发现: 段塞流的信号区和背景区面积之比平均为 0.026, 分层流为 0.53, 环状流为 0.35。段塞流信号区占整个图像面积的比值远小于其他流型, 因此该比值可以作为判别段塞流型的一个特征参数。该方法能有效利用于段塞流流型的快速自动检测。

关 键 词: 段塞流; 流型识别; 差压波动; 图像

中图分类号: O359 文献标识码: A

1 引 言

段塞流是油气混输管道中一种常见的流型, 由于其流动的间歇性, 引起管道中持液率和压力的急剧波动, 使得运行在该流型下的油气混输管道不得承受间歇性应力冲击, 同时离开管道末端的大液塞会引起下游油气处理设备中的液位剧烈波动。为保证管线和下游油气处理设备的最优设计和安全操作必须能够对段塞流型进行快速准确检测。

通常采用的流型判别方法是目测法, 即通过透明管段对流动进行观察, 但目测一般只适用于流速较低场合, 且受观察者的主观性影响很大。一些学者开始研究流型间接测量方法。在气液两相流动中, 几乎所有的流型都具有明显的波动特性, 即使是所谓的稳态流动也不例外。反映两相流波动特性的参数有局部压力、局部空隙率、局部平均密度和局部温度等^[1]。

这些参数的波动是由于管内局部点上气相、液相介质的交替出现而产生的。就其本质而言, 是由流体的状况所决定的, 与流型有极为密切的关系, 因此, 通过对这些参数的测量, 并对所得的随即信号进行统计分析, 可以得到不同流型的特征。由于压力或差压信号测量简单, 通过压力或差压信号来判

别流型获得了广泛应用。Hubbard 和 Dukler (1966) 测量了水平管空气—水两相流壁面压力^[2], 利用功率谱函数 (PSD) 对测量信号进行统计分析, 对流型进行了识别; Tutu (1982) 测量了竖直接管气液两相流的差压信号, 并利用概率密度函数 (PDF) 对流型进行了识别^[3]。但上述方法, 仍需对谱图进行观察才能识别流型, 无法自动识别流型。本文通过在大型多相流实验环道上进行广泛的流型实验, 对测量的差压信号进行分析, 将一维信号转化为二维图像, 通过对压差波动图像的分析来识别段塞流流型。

2 实验设备和系统

在气—水大型实验环道上进行实验, 采集了不同流型的差压波动数据。图 1 为实验环道流程图。实验介质为空气和水, 管道内径为 80 mm。气液两相通过调节阀调节流量后, 分别用金属浮子流量计和质量流量计测量流量, 气—水两相经混合器混合后通过测试段, 测试段采用有机玻璃制成, 可对流型进行观察, 另外还布置有 Keller 差压传感器, 测量差

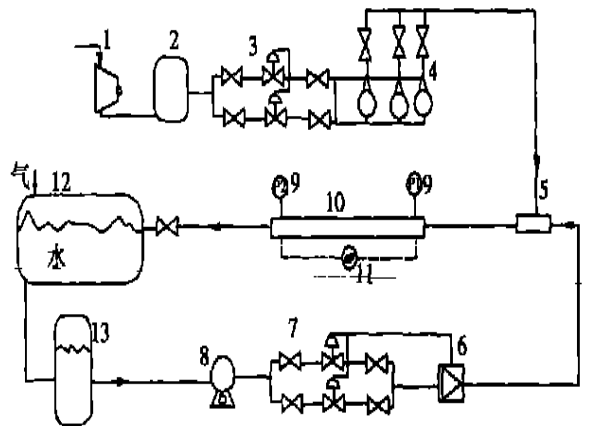


图 1 多相流实验环道流程图

收稿日期: 2004-05-20; 修订日期: 2004-08-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59995465)

作者简介: 梁法春 (1977-), 男, 河南信阳人, 西安交通大学博士研究生。

压信号。随后气液两相进入分离器,气相由上部放空口排出,液体收集到水罐中。实验气相折速范围为 22.0~33.2 m/s,液相折速为 0.024~0.089 m/s。通过测试段的有机玻璃对流型进行了观察,在实验范围内出现了分层流、段塞流和环状流流型,并通过差压传感器记录了相应流型的差压波动信号。本实验采样频率为 500 Hz。

3 利用面积比值判别流型

流型是由于气液两相流在绝热或受热管道流动时,因压力、流量、热流密度和管道几何形状的不同形成的流动结构形式^[4]。不同的流型具有不同的差压波动特征,因此可以通过对差压波动的分析和处理来区分不同的流型。本文主要通过将一维差压信号转化为二维图像矩阵,通过图像中信号区和背景区的面积比来识别出段塞流型。

将采集的一定长度的差压波动信号绘制在一图像中。本文中选取的时间长度为 100 s,由于采样频率为 500,故共有 50 000 个数据点。横坐标代表时间,纵坐标为压差。纵坐标的最大最小刻度分别对

应该段数据的最大和最小值。整个图像可以分成两部分,信号区和背景区(见图 2),信号区是图像中由于差压数据点形成的黑色区域,而背景区为图像四个边框所围整个区域的大小,对于所有波动图像,背景区域为一固定值。由于图像是二维矩阵组成,这样采集的一维差压信号就转化为二维矩阵,本文中矩阵大小为 1 190×1 694。矩阵中,黑色像素点的值为 255,白色为 0,通过计算矩阵中值为 255 的点的个数即可算出信号区的面积。由于图像大小固定,背景区也为固定值,其面积大小为 1 190×1 694。这样,可以计算信号区面积和背景区面积比值 R_{SB} :

$$R_{SB} = A_S / A$$

A_S 为信号区的面积, A 为整个图像面积,即背景区的面积。

图 3 为分层流的压差信号图像,信号区和背景区之比为 0.49;图 4 为环状流的差压信号,信号区和背景区之比为 0.34,图 5 为段塞流的差压信号图像,信号区和背景区之比为 0.038。可以看到分层流和环状流相对比较平稳,平均值和最大最小值差别不是很大,因此在图像中,信号区面积和背景区面积之比

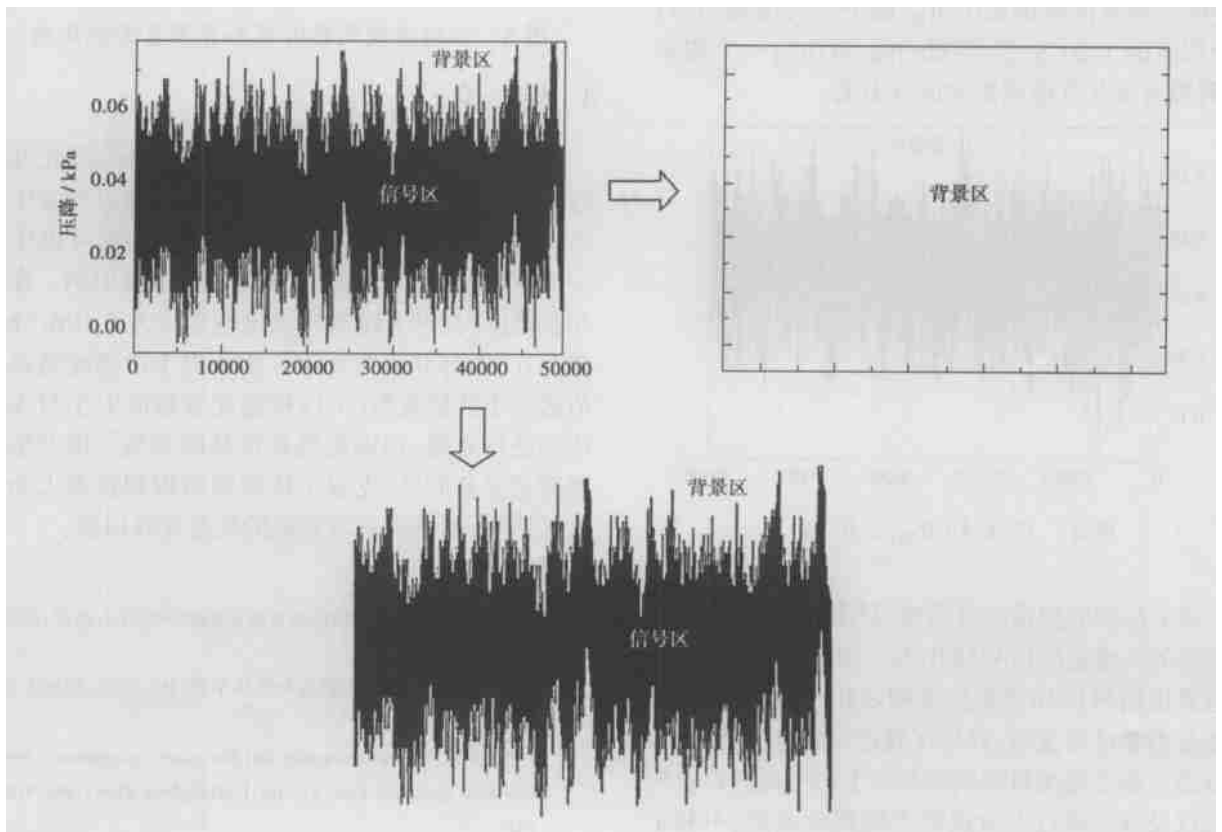


图 2 图像的信号区和背景区

较大;而对于段塞流,是由于液弹和 Taylor 泡交替流过管子截面,因而引起很大的压力波动,这样信号平均值和最大值、最小值的差别就很大。由于图像纵坐标范围在最大最小值之间,这样整个信号区的面积就很小,从而导致信号区和背景区面积之比也很小。

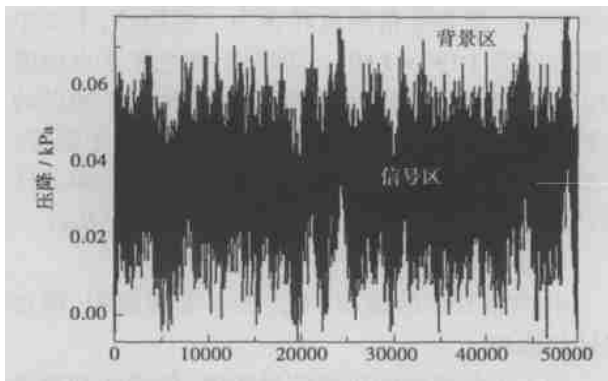


图 3 分层流 ($R_{SB} = 0.49$)

对本实验中采集的分层、环状、段塞各 30 组压差数据,根据上述方法,求得了信号区和背景区面积比值,见图 6。对于段塞流,比值大小平均值为 0.026,分层流为 0.53,环状流为 0.35。可见,对于段塞流,信号区和背景区面积之比 R_{SB} 远小于其他流型,只是分层流的 1/20 左右。因此, R_{SB} 可作为一个指示器,将段塞流从其他流型中区分出来。

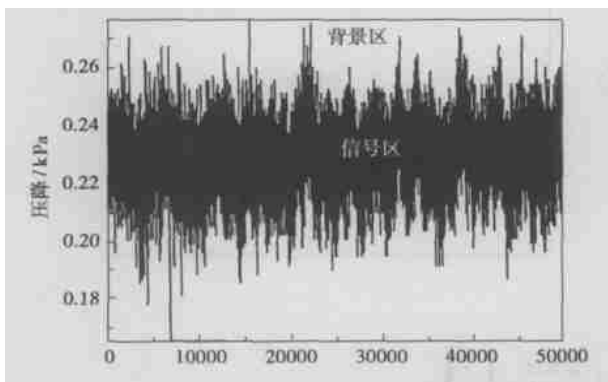


图 4 环状流 ($R_{SB} = 0.34$)

该方法需要测量设备简单,只需要差压传感器,将采集的一维差压信号转化为二维图像后,可以很快地算出信号区和背景区面积之比 R_{SB} ,从而很快判断是否是段塞流型,容易在线进行连续流型识别,有效的克服了传统目测观察所带来的主观性以及需要通过处理后进行人为观察才能判断流型、不利于连续流型测量的缺点。

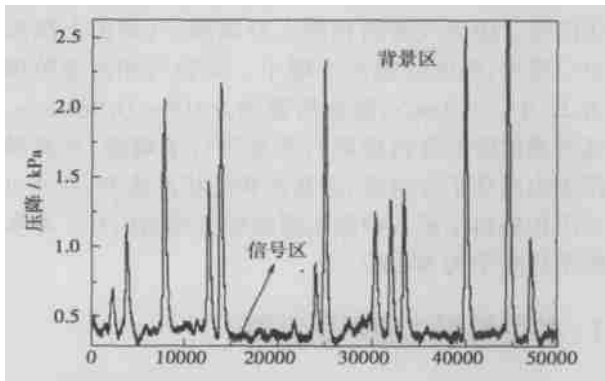


图 5 段塞流 ($R_{SB} = 0.038$)

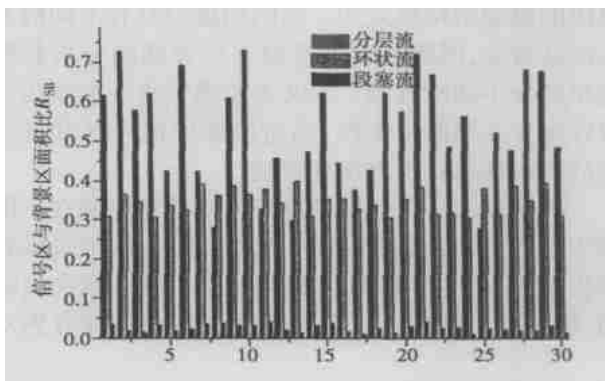


图 6 不同流型的信号区和背景区面积比值

4 结 论

不同流型具有不同的差压波动特征,因此可以通过对差压信号的分析来识别流型。通过对差压波动图分析发现,信号区和背景区面积比值可以作为一个特征参数来对段塞流流型进行准确识别。在本实验范围内,对于段塞流该比值平均为 0.026,分层流为 0.53,环状流为 0.35。由于对于段塞流型该比值远小于其他流型,可以根据此参数的大小对多相流动进行监测,判别流型是否是段塞流。该方法需要测量设备简单,克服了传统流型识别技术人为因素的影响,能够实现段塞流的快速在线识别。

参考文献:

[1] 吴浩江. 油气水多相流型智能识别的研究[D]. 西安: 西安交通大学, 1999.
 [2] 盖德·普特斯洛尼. 多相流和传热手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
 [3] TUTU N K. Pressure fluctuation and flow pattern recognition in vertical two-phase gas-liquid flow[J]. *Int J Multiphase Flow*, 1982, 8: 93-124
 [4] 林宗虎. 气液两相流和沸腾传热[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2003.

coal-based chemical industries, energy comprehensive utilization systems and near-zero pollutant emission systems. Pressurized oxygen-blown gasification fed with dry pulverized coal represents a main direction of development for coal gasification technology. The authors briefly describe a test system of pressurized coal gasification fed with dry pulverized coal, which has been set up in a Thermal Engineering Research Institute. The study and test results of the above system are given. With the clarification of the law of pressurized coal gasification fed with dry pulverized coal the tests have attained the anticipated aim. In addition, the operational stability of the test system under high pressures have also been verified.

Key words: coal gasification, entrained flow, dry feed of pulverized coal

超细煤粉还原 NO_x 的试验研究 = **Experimental Investigation of Super Fine Pulverized-coal Reburning Technology for Reducing NO_x emissions** [刊, 汉] / JIN Jing, LI Rui-yang, ZHANG Zhong-xiao (College of Power Engineering under the Shanghai University of Science & Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(6). — 582 ~ 585.

Ultra-fine pulverized coal reburning technology features high-efficiency NO_x reduction, low operating costs and ease of implementation. Through tests the authors have studied the key factors in this reburning technology, which exercise a major influence on NO_x reduction. The results of this study indicate that the finer the reburned fuel particles, the higher the NO_x reduction efficiency. The optimum average particle diameter of the reburned fuel is 20 μm . The optimum ratio of reburned fuel is 20% for lignite of Longkou and 25% for bituminous coal of Shenfu. There exists an optimum injection location for the reburned fuel. In general, the higher the coal rank, the further is the distance from a main fuel nozzle. The residence time of fuel in the optimum reburning zone is 0.63 s for lignite of Longkou and 0.75 s for bituminous coal of Shenfu. **Key words:** super fine pulverized coal, reburning, NO_x , reduction efficiency

一种基于差压波动图的段塞流识别方法 = **Slug flow Identification Method Based on a Differential-pressure Fluctuation Diagram** [刊, 汉] / LIANG Fa-chun, WANG Dong, LIN Zong-hu (National Key Laboratory on Multi-phase Flows in Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(6). — 586 ~ 588.

Extensive air-water two-phase flow tests were conducted on a large-sized horizontal test loop of multi-phase flows made of steel pipe of 80 mm inner diameter. The differential-pressure fluctuation signals of stratified, slug and annular flow patterns collected in a certain length of time were displayed as two-dimensional images. Through an analysis of 30 groups of differential-pressure fluctuation data it has been found that the ratio between signal zone area and background zone area has an average value of 0.026 for the slug flow, 0.53 for the stratified flow and 0.35 for the annular flow. The ratio between slug-flow signal zone and the total image area is considerably smaller than that of the other flow patterns. Consequently, this ratio can be taken as a characteristic parameter for slug-flow identification. The method under discussion can be effectively employed for the rapid and automatic detection of slug flow patterns. **Key words:** slug flow, flow pattern identification, differential-pressure fluctuation, image

薄液膜二维表面驻波的流动稳定性研究 = **Flow Stability Investigation of Two-dimensional Surface Stationary Waves on a Thin Liquid Film** [刊, 汉] / YE Xue-min, LI Chun-xi, YAN Wei-ping (Department of Power Engineering, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(6). — 589 ~ 592.

The flow stability of stationary waves, a kind of surface wave on a thin-liquid film, is subject to the influence of thermal non-equilibrium effect at a vapor-liquid interface. On the basis of boundary layer theory and thermal non-equilibrium effect derived is a spatial stability equation of the two-dimensional surface stationary waves universally applicable on evaporating, isothermal or condensing liquid films draining down along an inclined wall. From a theoretical viewpoint an in-