

输送工艺

多相流流型检测与识别技术**

梁法春¹ 曹学文² 冠 杰³ 林宗虎⁴
 (石油大学(山东)) (西安交通大学) (石油大学(山东)) (西安交通大学)

梁法春 曹学文等:多相流流型检测与识别技术,油气储运,2001,20(11) 1~4.

摘 要 流型识别对研究石油多相流技术具有重要意义,传统流型判别方法存在着诸多弊端。在考察了多相流流型检测技术及概率密度函数、功率谱密度函数等统计方法的基础上,利用小波分析、分形、神经网络等理论对流型的识别技术进行了分析,指出了流型研究的方法和重点。

主题词 多相流 流型 识别 小波分析 分形 神经网络

一、前 言

多相混输与计量是石油、天然气工业开发和集输工程中重要的工艺环节。当多相混合物在管道内流动时,随着压力、流量、热负荷、管道几何形状及位置的不同,形成许多具有不同相分界面的流动结构形式,简称流型。气液多相流的压降、界面相份额、传热传质率、结构传播速度、界面的稳定性等都和流型有着密切的关系。流型的不同还对流动参数的准确测量有很大影响,只有基于流型的多相流研究才能达到足够的精度^[1]。鉴于传统的流型识别方法存在诸多缺陷,客观上要求探索新的测试和识别技术,而随着非线性技术的迅猛发展,也为客观、准确的识别流型提供了手段。

二、流型分类

在水平管道中的气液两相流,由于重力的影响而产生的相对不对称性,使水平和微倾管道中所观察到的两相流流型变得复杂化。目前,比较一致的流型有泡状流、分层流、段塞流、环状流等。垂直管中存在的主要流型有泡状流、块状流、段塞流和环状流。对于油水两相流,流型可分为分离流型和分散流型,其中分离流型包括分层流流型和相界面上略有混杂

的分层流流型;分散流型包括水为连续相以及油为连续相的流型。对于更为普遍的油气水三相流动,流型变得更加复杂,流型可分为16种,甚至更多^[2]。

三、流型检测技术

根据测量原理,流型测量方法可以分为直接测量和间接测量两大类。

1、流型的直接测量方法

直接测量流型是根据多相流的流动形式直接确定流型的方法,其中包括目测法、高速摄影法、射线衰减法和电学法等。

目测法是通过透明段或透明窗口直接用肉眼观察管内多相流的流动状态。由于是用肉眼直接观察,因此只适用于低流速场合。直接观察法受观测者技能等主观因素影响较大。当管内流速较高时,肉眼难以观察到流动结构,可以使用高速照相机或摄影机,通过透明管段或透明窗口拍摄流体的流动状态。高速摄影法的一个主要缺陷是,由于多相流具有复杂的相界面,产生的多重反射和折射,降低了识别的准确性。

射线衰减法的原理是根据射线(X射线或 γ 射线等)穿透多相流介质时不同的衰减率,通过检查射线强度的变化来反映相介质的不同分布,并由此判别流型。射线衰减法可以用于金属管等非透明管道

** 国家自然科学基金重大项目(59995460)。
 * 257062,山东省东营市泰安路149号;电话:(0546)8391089。

内流型的确定,常用的射线源有铯 137 和镅 241 等。大多数情况下,多相混合物中气液相的介电常数不相等并且差别很大。通常可将浸在气液混合物中的两电极视为一个电容器,电容值与混合物的介电常数有关。而该介电常数是气相、液相介电常数和气液相分布结构的函数,因此测量电极间的电容值即可判断流型。电容法测量的优点是能进行瞬态测量,并易于实现,而且结构简单,价格低廉。

2、流型的间接测量方法

在气液多相流动中,水平管中除了静止或很平稳的分层流外,所有的流型都具有明显的波动特征,即使是所谓的稳态流动也不例外。反映多相流波动特性的参数有局部压力、局部空隙率、局部平均密度以及管截面的流体分布等。这些参数因管内局部点上的气相、液相介质交替出现而不断变化,是多种因素影响的结果,表面上表现出极大的随机性,但就其本质而言,与流型有着极为密切的关系。对这些波动参数进行测量并且对随机信号进行统计分析,可以得到不同流型的明显特征。这种测量方法的基本原理是由于不同流型下局部流动参数波动的规律不同,因而可由记录下来的波动过程特性来判断流型。图 1 为泡状流、环状流、段塞流以及分层流的压力梯度随时间变化的曲线。对于流型的直接测量,在某些工况下,如低频段塞流(两相邻段塞经历的时间可达到几分钟)时,可能将段塞流误判为分层流。而通过压力、压差信号的测量判别流型将能弥补这一不足。同流型密切相关的参数有压力、压差、含气率等,可以通过对这些参数的测量来识别流型。

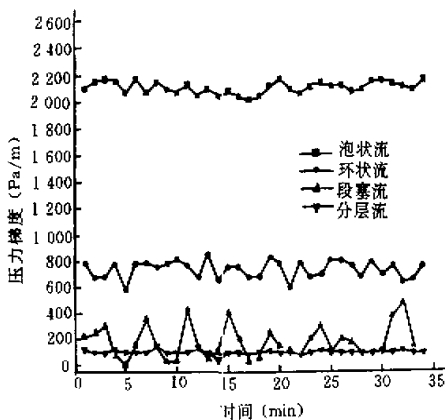


图 1 不同流型的压力梯度随时间变化曲线

四、流型识别方法

1、传统的流型识别方法

传统的流型判断方法主要有两类,一类是采用实验方法作出流型图(如 Mandhane 流型图),另一类是根据流型转变机理得到转变关系式,利用现场的流动参数来确定流型。

由于已有的流型图多是基于稳态流型转变的假设,因此通过室内实验方法获得的二维图形,只能适用于相同条件下的工况。然而在实际工况中,多相流动设备参数千差万别,并且许多设备在非充分发展状态下工作,很难与现有的流型图试验条件相同。试验观察法的主观性和流型变化的多样性,是导致现有流型图只有定性性质的主要原因。主观判断流型在邻近流型过渡区及高流速多相流时难以保证结果的准确性,而且基于流型转变准则来识别流型的方法,所得到的结果仍然具有定性的性质。此外,该方法要先知道气速和液速等参数,但是这两个参数在多相管流现场计量中难以直接测出,往往需要先判断出流型,才能测出液体和气体通量。对于 Taiter-Dukler 流型图与半经验公式法,需测试的参数较多,计算判断较为繁杂,并且只是一种定性的判断^[3]。

为客观的识别流型,许多学者开始尝试用其它方法展开对流型的识别研究,包括计算多相流波动信号的功率谱密度函数(PSD)及概率密度函数(PDF),将小波变换、分形技术以及人工神经网络等应用到流型的识别领域。

2、利用概率密度函数和功率谱密度函数识别流型

对多相流动的波动产生的随机信号进行统计分析,可以观察到不同流型的明显特征。通常采用的统计分析方法有概率密度函数和功率谱密度函数。

反映多相流波动特性的参数是随时间变化的一维连续随机变量,适合利用概率密度函数分析方法来求得其与流型之间的关系^[4]。从图 2 中可得到的规律为,气泡流的概率密度函数在低空隙率(ϵ)上有一个峰值,环状流的概率密度函数在高空隙率处有一个峰值,段塞流的概率密度函数有两个峰,过渡流的 PDF 特征则反映了由段塞流向环状流转变的中间状态。

Hubbard 和 Dukler^[5] 测量了水平管内各种流型压力波动的情况,并采用功率谱密度函数进行分析,发现层状流、波状流功率谱密度分布集中在零点附近,且幅值随着频率的增加急剧下降。气泡流功率

谱密度分布比较平坦,且在整个领域内分布比较平均,间歇流(弹状流、塞状流)功率谱密度分布出现一个幅度较大的特征峰。因此可以利用 PSD 特征的差别来识别不同的流型。

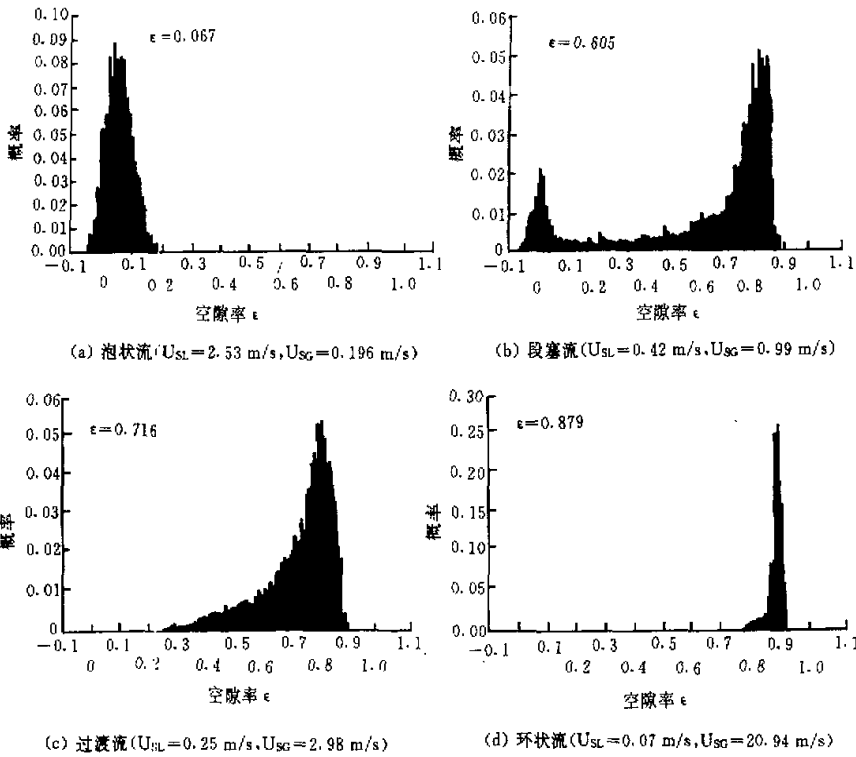


图 2 概率密度函数(PDF)与流型的关系图

3、利用分形理论识别流型

多相流动是一个非线性的动力耗散系统,它表现为一系列的混沌运动。混沌系统具有分形的性质,即混沌系统运动轨迹在相空间的几何形态可以用分形来描述,而分形的特征由分维来体现。由于所描述的具体对象不同,分维计算的具体形式也有多种,例如相似维数、信息维数和关联维数等^[6]。目前,在实践中使用最多的是简便易算的关联维数(图 3 中用 D_2 表示),关联维数是近年来发展起来的一种计算分维的方法。通过对水平管内油气水多相流流动的压差信号序列进行测量和处理,运用相空间重构法(Grasberger-Procaccia,简称 GP 算法)计算出各种流型压差信号的关联维数。各种流型的信号序列在重构的伪相空间中具有不同的关联维数,反映了各个流型不同的动力学形成机制,所以关联维数可用

于多相流型的识别。实验证明,采用分形理论识别多相流型十分有效。

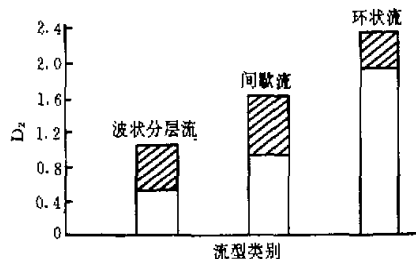


图 3 各流型之间关联维数的对比

由图 3 可以看出,不同流型之间的关联维数存在着很大的差异,可作为各种流型之间区分的依据。不同流型的关联维数其计算结果不同,反映了不同流型动力学的不同形成机制。

4、 利用神经网络实现流型的智能识别

神经网络近年来在许多领域都获得了成功的应用。神经网络由大量处理单元互联而成,具有很强的自适应、学习和容错能力,对信息处理更接近人的思维活动。流型的神经网络识别主要分为三个步骤,第一步是信息获取,选择能够反映流动结构变化的信号,如压力、压差空隙率等;第二步是特征提取,即利用信号处理方法,从所测信号中提取不同流型的特征;第三步是通过特定运算实现特征空间到流型类别空间的映射。据报道,采用该方法识别流型,识别率达到了 91%。文献[6]提到,对油气水三相流动,采用快速响应压差传感器对水平管内油气水多相流流动的压差进行测量,得到反映油气水多相流流动波动特性的压差信号,首先对其进行小波滤噪,然后根据分形理论从滤噪后的压差信号中提取出各种流型下信号的特征向量,最后将已知流型的压差信号通过小波分析进行信号滤噪,再通过计算分维进行信号特征提取,将经过处理的特征向量送入神经网络进行学习,得到神经网络的权系数。这样,将某种未知流型的压差信号特征向量送入径向基神经网络,网络就能自动输出流型的类型,从而实现油气水多相流流型的智能识别。

人工神经网络(ANN)是简单的非线性函数的多项复合,无需建立任何物理模型和进行人工干预,具有自组织、自学习能力,能映射高度非线性的输入输出,能自动调整各神经元之间的结合强度,保证网络正确地映射其输入输出关系。神经网络还具有很强的容错性和健壮性,善于联想、综合和推广,克服了传统流型识别方法的盲目性、主观性以及使用环境要求较高等缺点。

5、 多相流流型识别技术的工程应用

目前,关于多相管流和井流流量的计量,通常是将气液相分开进行单独测量。这种传统计量模式的缺点是精确低、成本高。英国帝国理工学院经过多年的努力,研制成功了一种称之为 ESMER (Expert System for Multiphase Flow Metering) 的专家系统^[7],可用于不分离连续计量。其工作原理是从测得的压力、压差或截面空隙率脉动信号中提取对气液相流量相对敏感的特征值作为神经网络的输入向量。测得的压力、压差信号经特征提取后组成特征集,经过神经网络训练收敛后即可用于流型、流量的预测。该系统能识别各种流型,并且可以获取各个相

的流量,通过现场标定后,气液流量测量精度可达 90% 以上。

五、结束语

研究多相流流型检测与识别技术,发展在线不分离多相流量计,对海洋石油的开发具有重要意义。流型的在线识别为控制海洋立管中严重的冲击流及避免严重冲击流的危害提供了决策分析手段。利用小波、分形、神经网络等信号处理技术辨识流型,可开发出适于井口计量的简单、可靠、经济型的多相流量计,这种多相流量计在工程中容易实现压力、压差等信号的测量,所以对该项目的研究应是当前多相流技术的研究重点之一。

参 考 文 献

1. 盖德·希特斯洛尼:多相流动和传热手册,机械工业出版社(北京)。
2. Acikgoz, M., Franca, F. and Lahey Jr, R. T.: An Experimental Study of Three - Phase Flow Regimes, Int. J. Multiphase Flow, 1992, 18(3).
3. 白博峰:汽(气)液两相流参数波动特性与流型在线自动识别的理论和试验研究(博士论文),西安交通大学,1999。
4. Lowe, D. C. and Rezkallah, K. S.: Flow Regime Identification in Micro-gravity Two-Phase Flows Using Void Fraction Signals, International Journal of Multiphase Flow, 1999.
5. Franca, F. and Acikgoz, M.: The Use of Fractal Techniques For Flow Regime Identification, Int. J. Multiphase Flow, 1991, 17(4).
6. 吴浩江:油气水多相流流型智能识别的研究(博士论文),西安交通大学,1999。
7. Qiu Jianhang, Haluk Toral: Three-Phase Flow-Rate Measurement by Pressure Transducers, SPE 26567.

(收稿日期:2001-06-20)

编辑:张彦敏

您要客户熟悉您的产品吗?建议您快到《油气储运》的广告客户中去寻找答案。

《油气储运》会给您提供一流的媒介、独特的设计、精美的印刷、周到的服务和热忱的合作。