



Multiphase Flow Parameters Measurement
Based on Digital Image Processing Technology

基于数字图像处理技术的 多相流参数检测技术

周云龙 李洪伟 孙 斌 著



科学出版社

基于数字图像处理技术的 多相流参数检测技术

周云龙 李洪伟 孙 斌 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

作者在多年从事基于数字图像处理技术的多相流参数检测技术研究工作中做出了具有创造性的成果,本书为上述研究成果的总结。全书共分7章,主要内容包括绪论、图像数学形态学方法在气液两相流气泡识别与容积含气率的测量中的应用、基于图像处理的气液两相流型识别、基于图像处理技术的气液两相流动特性分析、基于图像处理的油气水三相流型特性分析、基于图像处理的气固两相流型识别及空隙率检测、基于图像处理的气固两相流流速及流场计算。

本书可供控制理论和控制工程、模式识别与智能系统、检测技术与自动化装置、测试计量技术与仪器、热能工程等相关专业人员、工程设计人员阅读;也可作为高等院校相关专业的研究生教材、本科生选修教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于数字图像处理技术的多相流参数检测技术/周云龙,李洪伟,孙斌著. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033650-7

I. ①基… II. ①周… ②李… ③孙… III. ①数字图像处理-应用-多相流动-参数测试 IV. ①O359

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 030749 号

责任编辑:何舒民 任加林 / 责任校对:马英菊
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年4月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012年4月第一次印刷 印张: 14 1/2

字数: 262 900

定价: 52.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026(BI08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

数字图像处理是指用计算机对图像进行处理。数字图像处理主要包括图像获取、表示和表现,图像复原,图像增强,图像分割,图像分析,图像重建和图像压缩编码等七个部分,广泛用于几乎所有与成像有关的领域。目前数字图像处理技术发展迅速,其应用领域也越来越广,有些技术已相当成熟并产生了较大的效益。

多相流动现象与人类的生活和生产密切相关,广泛存在于石油、化工、动力工程以及各种加工工业的换热设备如蒸发器、冷凝器、锅炉以及油气输送等中。多相流学科是以多相流系统为研究对象,以工程热物理学为基础,与数学、力学、信息、生物、环境、材料和电子计算机等学科相互融合交叉而逐步形成和发展起来的一门新兴交叉学科。随着科学技术的迅速发展,多相流在科学研究、工业生产、环境保护以及人类生活中日益重要,使得多相流研究成为国内外极为引人注目的前沿学科。

多相流动是一个极其复杂的过程,其复杂的相间界面效应及相对运动使得多相流被称为“难测流体”。多相流测量的对象主要包括各相流体的速度、各相浓度、流型和流量等生产过程参数,准确测量这些参数有助于掌控多相流流动特性,对实际生产具有十分重要的意义。多年来,多相流参数检测得到广泛开展,测量多相流参数的方法也涉及各个学科门类。数字图像处理技术作为一门新兴的信号处理手段,随着科学技术的发展越来越多地被国内外多相流学者所关注。应用数字图像处理技术测量多相流参数较其他方法最大的优势是可视化、信息量丰富、客观反映流动现象,最重要的是非接触、不干扰流场,为多相流参数检测领域提供了一个新思路。

东北电力大学作者所领导的课题组在此研究领域承担了基金项目 2 项,其中国家自然科学基金项目“基于数字图像处理技术的气液两相流型智能识别及其演化规律”(项目编号:50906178)1 项;吉林省自然科学基金项目“基于图像处理技术的气液两相流型识别方法”(项目编号:20101562)1 项。到目前为止,在应用图像处理进行多相流体参数检测方面发表学术论文 30 余篇,其中被 SCI 收录 2 篇,EI 收录 14 篇。授权国家发明专利 1 项。

本书是作者近几年来在应用图像处理技术测量多相流参数方面所做的开创性工作的总结,对丰富和发展多相流参数测量等有重要的理论意义,同时对指导许多相关设备的设计、安全、稳定和高效运行提供技术指导,因此也具有重要的现实意义;此外,也可以作为同行开展此类研究工作的参考。

作者所领导的课题组的各位同仁和研究生陈飞、尚秋华、范振儒、袁俊文、宋连壮、周红娟、刘旭等对本书付出了辛勤劳动,在此向他们表示衷心感谢!在这个意义上讲,本书也是作者所领导的课题组集体劳动的成果。

前言、第1、3、5、6章由周云龙教授撰写,第2、4章由李洪伟博士撰写,第7章由孙斌教授撰写。全书由周云龙教授统稿。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不足,恳请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 数字图像处理的主要内容及发展方向	1
1.1.1 数字图像处理的主要内容	1
1.1.2 数字图像处理领域的发展动向	2
1.2 多相流概述	2
1.2.1 多相流体的定义	2
1.2.2 多相流体的分类	3
1.3 多相流主要测量参数及分类	5
1.4 图像处理技术在多相流参数检测中的应用与难点及发展趋势	8
1.4.1 发展现状	8
1.4.2 技术难点	11
1.4.3 发展趋势	12
参考文献	12
第 2 章 图像数学形态学方法在气液两相流气泡识别与容积含气率的测量中的应用	15
2.1 数学形态学的基本运算	15
2.1.1 二值图像中的形态学基本运算	15
2.1.2 灰度图像中的形态学基本运算	17
2.2 基于数学形态学的气液两相流独立气泡分割算法	18
2.2.1 改进 Canny 算子分割法	18
2.2.2 粒子群算法优化增强大津法	20
2.2.3 改进等高线分割法	23
2.3 基于数学形态学的气液两相流粘连气泡分割算法	28
2.3.1 流域分割法	29
2.3.2 遮挡分割法	30
2.3.3 面积重构法	32
2.3.4 形态学水线区域分割法	36
2.4 气泡形态特征参数计算及分析	39
2.4.1 气泡参数的求取	39

2.4.2 气泡参数分析	40
2.5 容积含气率的计算	43
2.5.1 气泡尺寸	43
2.5.2 容积含气率	44
2.5.3 实验结果与分析	44
2.6 小结	49
参考文献	50
第3章 基于数字图像处理技术的气液两相流型识别	52
3.1 气液两相流流型图像信号的获取	52
3.1.1 实验系统及步骤	52
3.1.2 图像采集系统的选取	53
3.1.3 两相流图像信号的获取及分析	55
3.1.4 流型图像的噪声分析及处理	56
3.2 气液两相流流型图像信号的特征提取	58
3.2.1 基于灰度直方图的流型图像特征提取	59
3.2.2 基于不变矩的流型图像特征提取	60
3.2.3 基于灰度共生矩阵的流型图像特征提取	62
3.2.4 小波变换的流型图像特征提取	65
3.2.5 基于小波包变换的流型图像特征提取	67
3.2.6 基于粗糙集的流型图像特征提取	71
3.3 流型的识别模型	73
3.3.1 基于BP神经网络的流型识别	73
3.3.2 基于Elman神经网络的流型识别	76
3.3.3 基于概率神经网络的流型识别	78
3.3.4 基于支持向量机模型的流型识别	80
3.3.5 基于隐马尔可夫模型的流型识别	82
3.4 小结	86
参考文献	86
第4章 基于图像处理技术的气液两相流动特性分析	89
4.1 图像连通区域特征分析	89
4.1.1 图像处理过程	89
4.1.2 形态学变异系数	90
4.1.3 行相关与分形维的计算	91
4.1.4 连通区域分析结果	93
4.2 动态图像平均灰度时间序列分析	98

4.2.1 两种熵测度特性分析	98
4.2.2 EMD 分解	102
4.2.3 双 HURST 指数分析	105
4.2.4 递归分析	109
4.2.5 质量指数谱分析	115
4.3 连续图像区域分块混沌特性分析	120
4.3.1 最大 Lyapunov 指数提取方法	120
4.3.2 灰度最大间距序列提取方法	121
4.3.3 流动机理分析	123
4.3.4 灰度最大相似值序列分析	127
4.4 气液两相流型空间图像复杂性测度分析	129
4.4.1 流型图像复杂性测度	129
4.4.2 气液两相流型复杂性分析	132
4.5 小结	135
参考文献	135
第 5 章 基于图像处理的油气水三相流型特性分析	137
5.1 油气水三相流型图像纹理特征	137
5.1.1 纹理特征定义	137
5.1.2 纹理分析方法	137
5.1.3 基于二阶直方图的流型图像纹理特征提取	139
5.1.4 图像纹理分析	142
5.1.5 流型图像纹理特征复杂性测度	144
5.2 油气水三相流型时间序列的特性分析	146
5.2.1 基于 HURST 指数的特性分析	147
5.2.2 基于关联维的特性分析	149
5.2.3 基于混沌吸引子的特性分析	151
5.2.4 时频域特征分析	152
5.2.5 混沌与分形特性分析	155
5.3 小结	158
参考文献	158
第 6 章 基于图像处理的气固两相流型识别及空隙率检测	160
6.1 气固两相流图像信号的获取	160
6.1.1 图像获取的实验系统及步骤	160
6.1.2 流型图像的预处理	161
6.2 流型图像的特征提取	163

6.2.1	灰度直方图统计特征的提取	163
6.2.2	图像傅里叶变换的纹理特征的提取	164
6.2.3	图像的小波纹理特征的提取	167
6.2.4	图像的多重分形特征的提取	171
6.3	流型识别模型	176
6.4	稀相输送中体积空隙率的检测	178
6.4.1	图像处理算法	179
6.4.2	参数计算	182
6.4.3	误差来源分析	184
6.5	小结	185
	参考文献	185
第7章	基于图像处理的气固两相流流速及流场计算	187
7.1	流化床颗粒与气泡运动图像的获取	187
7.1.1	图像采集	187
7.1.2	图像的预处理	189
7.2	基于特征相似度的 PTV 匹配算法	191
7.2.1	颗粒图像特征的提取	191
7.2.2	颗粒速度的测量	193
7.3	基于粒子群优化 Hopfield 网络的 PTV 匹配算法	196
7.3.1	能量函数的设计	196
7.3.2	基于 PSO 优化的 Hopfield 网络对颗粒进行匹配	198
7.3.3	速度场的测量	200
7.4	基于光流分析法的流场检测	204
7.4.1	光流分析法基本原理	204
7.4.2	MQD 互相关算法	206
7.4.3	检测结果分析	207
7.5	气固两相流中气泡行为分析	212
7.5.1	气泡图像的处理及数据的获取	212
7.5.2	气泡上升过程中的行为分析	214
7.5.3	气泡的聚合与分裂行为分析	217
7.6	小结	219
	参考文献	220

第 1 章 绪 论

1.1 数字图像处理的主要内容及发展方向

1.1.1 数字图像处理的主要内容

数字图像处理是指用计算机对图像进行处理。它广泛用于几乎所有与成像有关的领域。目前数字图像处理技术发展迅速,其应用领域也越来越广,有些技术已相当成熟并产生了较大的效益。当前数字图像处理的主要任务是研究新的处理方法,构造新的处理系统,开拓更广泛的应用领域^[1]。

对图像进行加工和分析主要有如下三个方面的目的。

(1) 提高图像的视感质量,以达到赏心悦目的效果。如去除图像中的噪声,改变图像的亮度、颜色,增强或抑制图像中的某些成分,对图像进行几何变换等,从而改善图像的质量,以达到或真实的、或清晰的、或色彩丰富的、或意想不到的艺术效果。

(2) 提取图像中所包含的某些特征或特殊信息,以便于计算机对其进行分析。例如,常用作模式识别、计算机视觉的预处理等。这些特征包括很多方面,如频域特性、灰度/颜色特性、边界/区域特性、纹理特性、形状/拓扑特性和关系结构等。

(3) 对图像数据进行变换、编码和压缩,以便于图像的存储和传输。

数字图像处理研究的内容主要有以下七个过程。

(1) 图像获取、表示和表现。此过程主要是把模拟图像信号转化为计算机所能接受的数字形式。

(2) 图像复原。复原技术是基于模型和数据的图像恢复,其目的是消除退化的影响,从而产生一个等价于理想成像系统所获得的图像。

(3) 图像增强。图像增强是对图像质量在一般意义上的改善。其实对于图像的增强可以理解为增强感兴趣特征的可检测性。

(4) 图像分割。把图像分成区域的过程就是图像分割。图像分割是为了达到识别和理解分析的目的,是按照一定规则对图像进行的分割处理。

(5) 图像分析。图像处理应用的目标几乎均涉及图像分析,即对图像中的不同对象进行分割、特征提取和表示,从而有利于计算机对图像进行分类、识别和理解。

(6) 图像重建。图像重建是指从数据到图像的处理,即输入的是某种数据,而

经过处理后得到的结果是图像。

(7) 图像压缩编码。图像编码研究属于信息论中信息编码范畴,其主要宗旨是利用图像信号的统计特性和人类视觉的生理学及心理学特性对图像信号进行高效编码,即研究数据压缩技术,以解决数据量大的矛盾。一般有三个目的:①减少数据存储量;②降低数据率以减少传输带宽;③压缩信息量,便于特征提取,为识别作准备。

1.1.2 数字图像处理领域的发展动向

当前,图像处理面临的主要任务是研究新的处理方法,构造新的处理系统,开拓更广泛的应用领域。图像处理技术未来发展大致可归纳如下:

(1) 图像处理的发展将围绕 HDTV(高清晰度电视)的研制,开展实时图像处理的理论及技术研究,向着高速、高分辨率、立体化、多媒体化、智能化和标准化方向发展。

(2) 图像、图形相结合,朝着三维成像或多维成像的方向发展。

(3) 硬件芯片研究。把图像处理的众多功能固化在芯片上,使之更便于应用。

(4) 新理论与新算法研究。在图像处理领域,近几年来,引入一些新的理论并提出一些新的算法,如小波分析、分形几何、形态学、遗传算法、人工神经网络等。这些理论及建立在其上的算法,将成为今后图像处理理论与技术的研究热点。

数字图像处理经过初创期、发展期、普及期及广泛应用几个阶段,如今已是各个学科竞相研究并在各个领域广泛应用的一门科学。随着科学技术的进步,以及人类需求的不断增长,图像处理科学无论是在理论上还是在实践上,均会取得更大的发展。

1.2 多相流概述^[2~4]

1.2.1 多相流体的定义

在自然界中,物体的形态是多种多样的,最常见的有固态、液态和气态。处于固态的物体称为固体,处于液态的物体称为液体,处于气态的物体称为气体。

相的概念通常是指某一系统中具有相同成分及相同物理、化学性质的均匀物质部分,各相之间有明显可分界面。因此,各部分均匀的固体、液体和气体分别称为固相物体、液相物体和气相物体,或统称为单相物体。

由于液体和气体具有流动的特性,两者一般统称为流体。因此,各部分均匀的气体或液体的单相物质的流动称为单相流。所谓两相流或多相流,是指同时存在两种或多种不同相的物质流动。例如,气体和液体的混合流动、气体和固体的混合

流动、液体和固体的混合流动以及油气水混合流动。

要属于两相或多相流动,必须满足以下两个条件:一是必须存在相的界面;二是相界面必须是运动的。例如,气体在管道内流动,气体是气相,管道是固相,它们也存在相界面,但相界面是不动的,故它们不是两相流;气体和固体颗粒的混合流动也存在相界面,当相界面随固体颗粒的运动而运动时,这种气体和固体颗粒混合流动是气固两相流。又如,水夹带着气泡在管子中流动,水和每个气泡之间都存在分界面,但是在流动过程中,每个气泡在水中的形状和位置随时在变化,小气泡有时还会合并成较大的气泡,因而水和气泡的分界面随着流动是在不断变化的,属于气液两相流。所以,一般可将多相流定义为存在变动分界面的多种独立物质组成的流动。

固体、液体和气体的性质明显不同。固体具有一定的形状和体积;液体没有一定的形状,但有一定的体积且具有流动性;气体总是均匀充满全部容器,其形状和体积是由容器的形状和容积决定的,同时具有流动性。由上述可见,固体是无法与气体或液体混合成均匀的单相流体的,因此固体颗粒和气体或液体的混合流动均属多相流。各种液体混合在一起,有时可成为一种单相流体,如水与酒精的混合物;有时则不能,如水与水银的混合。因此,各种液体的混合流动可能是单相流,也可能是多相流。各种气体混合时都能混合均匀,成为一种单相气体,因此各种气体的混合流动均属单相流。

1.2.2 多相流体的分类

多相流根据参与流动各相的数目一般可分为两相流和三相流两类,其中尤以两相流为最常见。两相流可以分为四种:气体和液体一起流动称为气液两相流;气体和固体颗粒一起流动称为气固两相流;液体和固体颗粒一起流动称为液固两相流;两种不能均匀混合的液体一起流动称为液液两相流。三相流可分为三种:气体、液体和固体颗粒一起流动称为气液固三相流;两种不能均匀混合的液体和固体颗粒一起流动称为液液固三相流;石油、天然气和水一起流动称为油气水三相流。当然,也存在气体、多种不能均匀混合的液体和固体颗粒一起流动的工况,这种流动可以根据参与流动各相的数目另行命名。

还可以根据参加流动的各组分对多相流进行分类。以气液两相流为例,可分为单组分气液两相流和双组分气液两相流。例如,水蒸气 and 水的组分是相同的,所以汽水混合物的流动属于单组分气液两相流;空气和水的组分是不同的,所以空气和水混合物的流动属于双组分气液两相流。单组分气液两相流在流动时根据压强变化的不同会发生相变,即部分液体气化为蒸汽或部分蒸汽凝结为液体;双组分气液两相流则一般在流动时不会发生相变。

根据换热情况的不同,多相流还可分为与外界无加热或冷却等热量交换过程

的绝热多相流和有热量交换的多相流。在有热交换的多相流中,伴随着流动过程常会发生组分工质的相变(即液体气化成蒸汽或蒸汽凝结成液体)。

多相流在自然界、工程设备乃至日常生活中都是广泛存在的。自然界中常见的夹着灰粒、尘埃或雨滴的风,夹着泥沙奔流的河水以及湖面或海面上带雾的上升气流等均多相流的实例。在日常生活中常见的烟雾;啤酒夹着气泡从瓶中注入杯子的流动过程以及沸腾的水壶中水的循环也都属于多相流的范畴。

严格地说,即使在一般认为是单相流体的液体和气体中也往往含有另一相的成分在内。例如,当温度降低时,含于气体中的水蒸气就会凝结,使气体带有微量水分。又如,在水流中几乎总含有少量空气。但是,在这些情况下,由于气体或液体中所含有另一相数量微小,所以仍可看成单相流体。

在工程设备中,多相流工况也是经常遇到的。在动力、核能、化工、石油、制冷和冶金等工业中就存在各种气液两相流工况。例如,在核电站、火力发电站中的各种沸腾管、各式气液混合器、气液分离器、各种热交换设备、精馏塔、化学反应设备、各式冷凝器及蒸发器等都广泛存在气液两相流体的流动和传热现象。

气固两相流工况在工程中也是常见的。在动力、水泥、冶金、粮食加工和化工等工业中广泛应用的管道气力输送就是一种气固两相流。气力输送中应用气体输送的固体颗粒是多种多样的,有煤粉、水泥、矿石、盐类、谷类以及面粉等。虽然气力输送的固体颗粒品种和颗粒尺寸不同,但从本质上看都属于气固两相流的范畴。此外,在采用流化床燃烧的锅炉中,炉膛空气和燃料颗粒的流动工况以及煤粉锅炉炉膛中的流动工况也都是气固两相流工况。

液固两相流在工程中的典型例子为水力输送。水力输送广泛用于动力、化工、造纸以及建筑等工业。在这些工业中,用水力沿着管道输送的有各种固体颗粒,如烟煤、泥煤、矿料和盐类等;也有用水和各种细颗粒混合成浆状输送物进行输送的,如水煤浆、纸浆及建筑材料浆等。其他,像火力发电厂锅炉的水力除灰管道中流动的水灰混合物也属液固两相流的范畴。

至于液液两相流,可用化工中的乳浊液流动工况及石油工业中的油水混合物为其工程实例。

在工程中还存在不少三相流的工况。例如,在浆状流体中,除存在固相和液相外,有时还含有气相(空气)。化学工程中采用的各种气液固三相流化床工况中有气体、液体和固体颗粒一起流动。在油田开采出来的原油中,除去原油和天然气外还带有水。这些流体的流动工况都属于三相流的范畴。在油田开采出来的流体中,有时除原油、气体和水外还夹有沙粒,这种流体的流动就属于四相流。

1.3 多相流主要测量参数及分类^[2~7]

多相流动极其复杂,多相流测量在国际上还没有得到满意解决,多相流被称为“难测流体”,多相流测量也成为国内外科技工作者争相探索的热点课题。

多相流测量的对象主要包括各相流体的速度、各相浓度、流型和流量等生产过程参数,这些参数的在线测量对生产过程的计量管理、控制和运行可靠性具有重大意义。如果多相流可以形成统一的理论,就能够促进全球能源与环境经济的进步和发展。

在多相流系统中,各相间的相互作用,存在时间和空间上均随机可变的相界面,致使多相流系统具有远比单相流动复杂的流动特性。因此,描述多相流动的参数除描述单相流动的参数,还要增加一些新的参数。下面对这些参数进行简要说明。

1. 流型

流型又称流态,即流体流动的形式和结构。多相流相界面随机可变,使多相流动形式十分复杂。流型这一参数是多相流动特有的,对多相流其他参数的准确测量往往依赖于对流型的了解。以气液管流为例,图 1-1、图 1-2 分别示出气液两相流在垂直上升管道及水平流动管道中的流型。

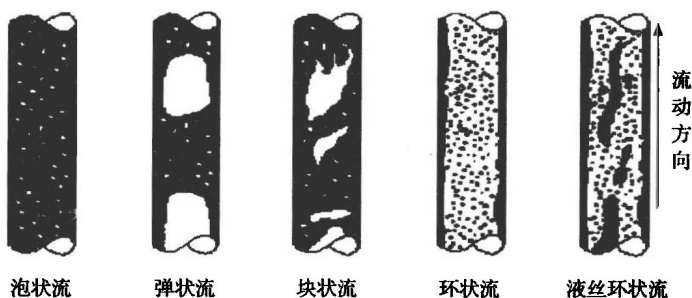


图 1-1 垂直上升管中的流型

2. 流量

流量表示在一定时间内流体流过一定截面的总数量。根据采用的单位制不同,可分别用体积流量或质量流量表示。对于各相流体,可用分相体积流量和分相质量流量表示。对于两相混合流体,可用平均体积流量和平均质量流量来表示。以气液两相流为例。



图 1-2 水平流动管道中的流型

气液两相流的质量流量可以表示为

$$G = G_g + G_l \quad (1-1)$$

式中: G 为总质量流量; G_g 、 G_l 分别为气相质量流量和液相质量流量。

气液两相流的体积流量可以表示为

$$Q = Q_g + Q_l \quad (1-2)$$

式中: Q 为总体积流量; Q_g 、 Q_l 分别为气相体积流量和液相体积流量。

3. 速度

在多相流系统中,由于各相速度不同,所以除表征多相流混合体整体流动的速度外,还有表征各个分相的分相速度和表征各分相速度差异的相对速度和速度比。

在多相流动中,相间存在相对滑移,多相流速既可以用混合流体的平均速度表示,也可以用分相速度表示。由于多相界面在时间和空间上存在复杂变化,因此分相流速难以获取,为了表征分相流速,引入了表观速度的概念。表观速度是指分相流体的体积流量与管道流通截面积的比值,表示了当分相流体在管道中单独流动时的流速。以气液两相流为例。

气液分相速度分别为

$$w_g = \frac{Q_g}{A_g} \quad (1-3)$$

$$w_l = \frac{Q_l}{A_l} \quad (1-4)$$

式中: w_g 、 w_l 分别为气相分速度和液相分速度; A_g 、 A_l 分别为液相流体通过的截面积和气相流体通过的截面积。

气液表观速度分别为

$$w_{sg} = \frac{Q_g}{A} \quad (1-5)$$

$$w_{sl} = \frac{Q_l}{A} \quad (1-6)$$

式中: w_{sg} 、 w_{sl} 分别为气相表观速度和液相表观速度; A 为流通截面积,即

$$A = A_g + A_l \quad (1-7)$$

4. 滑移比

滑移比在多相流中是一个比较重要的参数。以气液两相流为例,在两相流动中,气液两相间的流动速度不同,有时气相流体比液相流体的速度大很多,因此需要使用滑移比来表示两相间的速度滑移。滑移比是指两相流动中气相流速与液相流速的比值,可以表示为

$$s = \frac{w_g}{w_l} \quad (1-8)$$

5. 密度

在多相流动中,各相流体有各自的密度,但由于多相流动中多相流体相含率随时间而变化,多相流体的混合密度随分相含率而变化。混合密度可以用各相密度和分相含率计算得到。

以气液两相流为例,两相流的平均密度包括流动密度和真实密度。流动密度是表示单位时间内流过截面的两相混合物的总质量与总体积的比,即

$$\rho_t = \frac{G}{Q} \quad (1-9)$$

真实密度是在一个给定体积内两相流体总质量与总体积的比,即

$$\rho = \alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_l \quad (1-10)$$

式中: α 为两相流空隙率; ρ_g 、 ρ_l 分别为气相流体密度和液相流体密度。

6. 分相含率

各类多相流中的分相含率都有一些不同的习惯用语。分相含率可以表示为一段管流按容积、截面或平均分相含率;也可表示为局部区域的局部分相含率。如果对局部分相含率的分布进行统计测量,将可提供多相流中分散相浓度及其分布的数据,也可为判别多相流型提供定量依据。

以气液两相流为例,分相含率包括截面含气率、容积流量含气率、质量流量含气率等三种形式。

截面含气率,又称空隙率,表示在管道的某一流动截面上,气相所占截面面积与总流通面积的比值,即

$$\alpha = \frac{A_g}{A} \quad (1-11)$$

容积流量含气率,表示气相体积流量占气液两相混合物总体积流量的比值,即

$$\beta = \frac{Q_g}{Q} \quad (1-12)$$

由于在两相流动过程中滑移比一般不等于 1, 空隙率与容积含气率通常是不相等的。

质量流量含气率, 又称干度, 表示在两相混合流体中气相质量流量与两相总质量流量的比值, 即

$$\chi = \frac{\beta \rho_g}{\beta \rho_g + (1 - \beta) \rho_l} \quad (1-13)$$

7. 压力降

压力降是多相流系统的一个基本参数, 多相流混合体流动产生的压力降是多相流系统工程应用必须考虑的因素, 它的理论计算和在线测量对多相流系统的应用和参数检测有重要作用。

此外, 温度、传热系数、传质系数、液膜厚度和流率、剪切力、气泡、液滴、颗粒的大小尺寸等也是描述多相流系统的参数。

多相流动过程是复杂的多变量随机过程。多相流检测是一个难度较大, 在国内外都属亟待研究和探索的领域。

1.4 图像处理技术在多相流参数检测中的应用与难点及发展趋势

1.4.1 发展现状

图像处理技术是一门新兴的检测技术, 近年来图像处理在工业检测中的应用越来越受到人们的重视。在两相流系统的参数检测中, 图像处理技术也得到广泛的应用。

1. 过程层析成像技术中的图像重建

过程层析成像技术在两相流的参数检测中具有广阔的应用前景, 其技术要点之一是如何进行图像重建。过程层析成像技术中图像重建算法大都是沿用和借鉴医学 CT 中相应较成熟的算法, 其精度高, 但实时性差。虽然医学成像技术经多年的发展已经形成了一些行之有效的图像重建算法, 但对于电容层析成像技术来讲, 其测量场的“软场”特性和投影数量过少等特点, 致使源于医学上的图像重建算法不能直接应用, 因而必须进行改进以适合 ECT (electrical capacitance tomography) 自身特点的图像重建算法。ECT 图像重建算法, 大体可以分为迭代类算法和非迭代类算法两大类。国内外许多学者在这方面做了大量研究。线性反投影算法 (linear back projection, LBP) 是电容层析成像系统中使用最早而且目前使用最多的一