

《基于图像处理技术的管内气液两相流含气率测量方法》

(征求意见稿)

团体标准编制说明

一、工作情况

1、任务来源

管内气液两相流现象常见于化工、环保、能源等工业过程，含气率测量与监测对于这些领域的安全生产和效率提升有重要意义，其测量方法的研究与应用，既关乎工艺优化，也影响设备运行稳定性。基于光学图像分辨各相的方法是一种多相流动特征检测方法，研究表明，采用图像处理方法对透明管路内的气液两相流成像并分别进行识别，能够计算流体中的气体含量。为研究管内气液两相流含气率测量方法，淄博市检验检测计量研究总院牵头，联合江苏大学能源与动力工程学院、淄博海关、淄博齐翔腾达化工股份有限公司、山东新华制药股份有限公司、南京明德软件有限公司向山东计量测试学会申报《基于图像处理技术的管内气液两相流含气率测量方法》团体标准的制定项目。该标准的制定可实现水平、垂直管内气液两相流注入气体的含气率测量，可在实验室场景模拟不同工况下的气液两相流现象，研究含气率特征，也为工况下实现含气率实时监测提供了理论依据和技术视角。

2、主要工作过程

(1) 成立标准制定小组

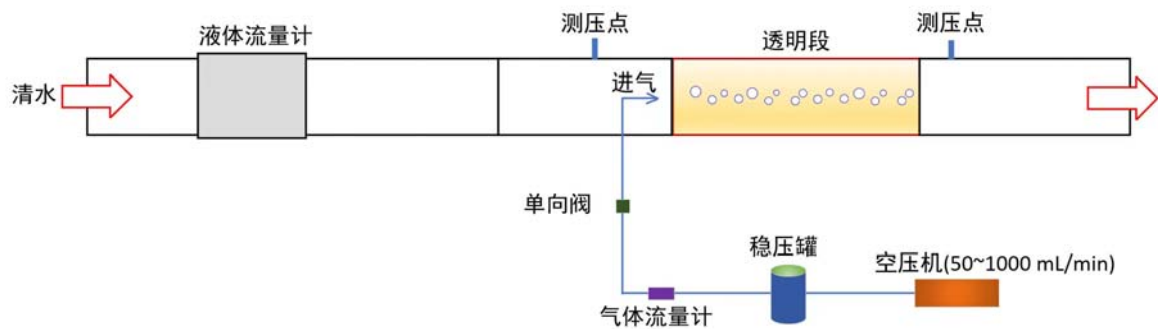
2024 年 6 月，淄博市检验检测计量研究总院作为主要起草和策划单位，召集相关协同单位的工作人员，成立标准编制小组，通过多次线上线下会议，初步拟定了标准编制的工作目标、工作内容，并讨论了工作进度安排和任务分工，启动标准制定工作；

（2）文献调研及资料收集

2024 年 6 月，通过文献调研和多方咨询，查询并收集了图像处理技术、摄影归档系统、流体力学、多相流动光学测量等方面的国际标准、国家标准、技术规范等资料，经过充分讨论、分析，研究确定了《基于图像处理的管内气液两相流含气率测量》团体标准制定的原则和技术路线。

（3）现场考察及确定方案

2024 年 7 月，先后实地到淄博齐翔腾达化工股份有限公司、山东新华制药股份有限公司等多家企业调研应用场景；赴上海、苏州等生产光学测量仪器的厂家进行调研，了解光学测量系统的技术指标与工程应用情况。经多次技术研讨，确定了实验段测量系统的组成，包括液体流量控制装置、气体流量控制装置、观察段、光源系统、图像采集系统、图像处理系统。2024 年 8 月，依托淄博市检验检测计量研究总院液体流量检定装置，开始搭建实验段测量系统，并于 2024 年 9 月搭建完成。



（4）开展试验验证

2024 年 10 月，标准制定小组在淄博市检验检测计量研究总院搭建的实验段测量系统进行试验，获得不同气液流量比条件下的气液两相流动图像，结合图像预处理、阈值分割和像素统计技术识别气液区域，通过图像中气相所占面积比例计算出了截面的瞬时、平均含气率，并进行测量结果的分析，验证了本标准的有效性。

（5）立项，形成征求意见稿

2025 年 6 月，标准编制小组向山东计量测试学会申报起草《基于图像处理的管内气液两相流含气率测量》团体标准，于 7 月得以批准立项。立项通知下达后，编制小组经过反复讨论，在前期充分调研、资料收集和试验验证的基础上，于 8 月形成了征求意见稿和编制说明初稿。

3、起草单位及其所做的工作

本标准主要由淄博市检验检测计量研究总院、江苏大学能源与动力工程学院负责文献的调研和资料收集整理、起草制定，淄博海关、淄博齐翔腾达化工股份有限公司、山东新华制药股份有限公司参与方法试验与验证工作，江苏大学能源与动力工程学院、南京明德软件有限公司负责图像处

理算法代码的编写。

二、编制原则和标准的主要内容

1、编写原则

本标准依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》起草，符合相关法律法规及政策文件规定，坚持科学适用、需求导向和可操作性原则。标准内容重点突出、层次清晰、结构合理，具备可行性和可操作性。

2、主要内容

标准内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、测量原理、测量系统组成、技术要求、检测方法、测量结果分析、实施要求与适用范围 9 个方面的内容。分别说明如下：

（1）范围

本部分给出了标准的适用范围，适用于水平管内注入气体含气率测量，垂直管道和其他类似工况可参照使用，液体介质需为透明液体介质。

（2）规范性引用文件

本部分给出了标准内容中所使用的引用文件，主要包括 GB/T 30821-2014《无损检测 数字图像处理与通信》；ISO/TS 21354:2020《Measurement of multiphase fluid flow》；ISO 19264-1:2021《摄影技术.存档系统.成像系统质量分析.第1部分：反光原件》；SF/T 0152-2023《图像处理技术规范》；CSN 75 0102-2001《流体力学术语》；JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》等。

（3）术语和定义

本部分给出了标准主要内容所用到的术语和定义，包括含气率、灰度图像、二值图像、图像分割、中值滤波和背光照明。

（4）测量原理

本部分给出了气液两相流含气率的测量原理。

（5）测量系统组成

本部分给出了测量系统由液相流量控制装置、气相流量控制装置、观察段、光源系统、图像采集系统、图像处理系统六部分组成。并分别对测量系统的各个组成部分技术参数进行了说明。

（6）技术要求

本部分给出了对气液两相流图像采集时需满足的光照条件、图像采集条件，并对图像采集组成部分的作用进行了描述。

（7）检测方法

本部分介绍了图像采集、图像选取与标注、含气率计算等内容。

（8）测量结果的分析

本部分介绍了误差来源、异常值剔除、重复性检验、不确定度评估、含气率变化特征分析方法等内容。

（9）实施要求与适用范围

本部分给出了实施含气率测量的实施要求、适用范围、限制说明。

三、主要试验（验证）情况

1、验证内容

主要验证《基于图像处理技术的管内气液两相流含气率测量方法》的技术要求、检测设备和检测方法的合理性、实用性。

2、环境条件

温度：10~36℃，相对湿度：不大于 60%。

3、试验用相关设备：

图像拍摄设备及配套设备： Olympus I-SPEED 3 高速摄像机；所采用图像捕捉频率：2000 fps，对应图像分辨率：1280×1024 像素；相机固定支架；冷光源；漫射板；

试验台相关设备及参数：

液体流量计检定装置：流量范围（0.2~1780）m³/h,准确度等级 $U_{\text{rel}}=0.18\%,k=2$;

气体质量流量计:量程（0~2）L/min，准确度等级 1.0 级；

压力变送器：量程（0~0.6）MPa，准确度等级 0.1 级；

数显温湿度计：温度（5~50）℃，湿度（5~95）%RH；

稳压罐：10m³ 液体稳压罐，1m³ 气体稳压罐；

空气压缩机：（0.6~0.9）MPa，流量范围（1.0~1.25）m³/min；

透明管段：直径为 150 mm、长度为 500 mm 的透明亚克力圆柱段。

试验场景见图 1：

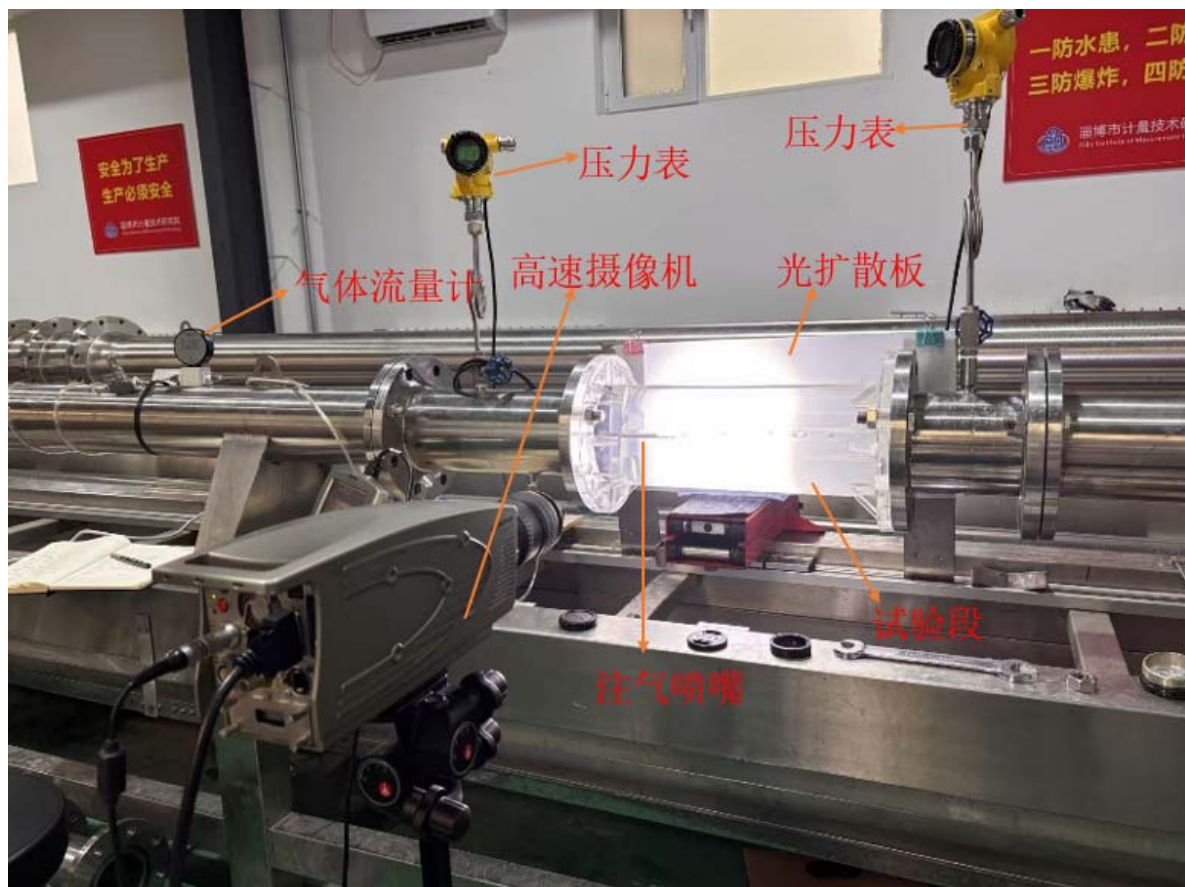


图 1. 试验场景

4、图像处理方法

开发图像处理代码,该代码可以自高速相机拍摄的图像中提取气泡的形状,并可通过批处理方式获得气泡的运动轨迹。该代码的编写依据主要是图像灰度值差异和气相区轮廓的曲率追踪方法。首先去除图像背景,使图像中的气相区分离出来,然后对图像进行二值化处理,以改善对比度,再对气相区进行轮廓边缘识别和曲率追踪,以准确地获得气相区的轮廓。图像处理的主要步骤见图 2。

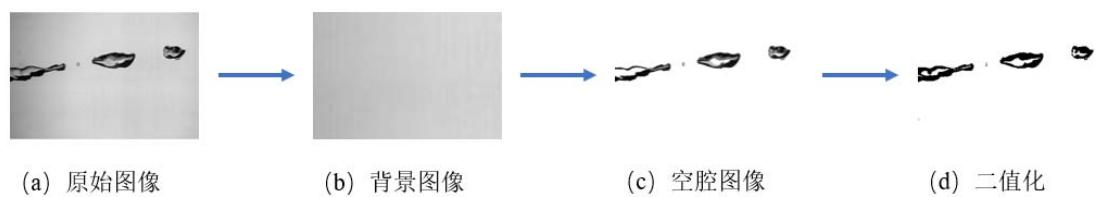


图 2. 图像处理的主要步骤

5、试验结果

时间	2024 年 10 月 15 日
地点	淄博市检验检测计量研究总院计量院 液体流量实验室
工况编号	G20241015-02
介质类型	水/空气
管道规格（mm）	150
工作温度（℃）	23
液体流量（L/h）	150
气体流量（L/min）	2
管路压力（MPa）	0.05
平均含气率（%）	8.7%
相对误差（%）	4.1%

6、气液两相流动特性分析。

(1) 在相同液体流量条件下，当注气流量较小时，空腔长度保持相对稳定，脱落气泡尺寸较小且脱落频率较低，夹断现象不明显。空腔的形态特征表现为：上侧保持水平，而下侧则由初始的水平段逐渐过渡为向上倾斜的部分。随着注气流量的增加，空腔在流向方向上显著延伸，脱落气泡的尺寸增大，空腔夹断位置向后移位，夹断现象变得更加显著。

(2) 在相同注气流量条件下，随着液体流量的增大，空腔长度逐渐增加。液体流量对脱落气泡的侧向扩展产生抑制作用，从而导致气泡尺寸显著减小，气泡形态呈现细长形态。然而，当液体流量超过空腔边界稳定的临界值时，液体流动所产生的尾流效应显著影响空腔界面的稳定性。在此情况下，液体通过界面卷入空腔，促进气液两相的混合，进而引发脱落气泡或空腔前缘部分的连续夹断现象。这一现象不仅加速了气泡的脱落频率，还导致空腔长度的缩短。

(3) 随着气液流量比的增大，夹断频率呈现先上升后下降的趋势。在气液流量比为 0.72 时，夹断频率达到最大，为 74 Hz。该趋势可根据注气流量的变化划分为注气流量主导区和液体流量主导区。在注气流量占主导地位时，空腔表面相对平滑，尾流对空腔稳定性的影响较小。相反，当液体流量占主导地位时，尾流效应显著加剧空腔的抖动，空腔表面出现复杂的波纹结构，尾流对空腔的稳定性造成了显著的破坏。

四、预期达到的经济社会效益、对产业发展的作用等情况

目前国家层面暂时未颁布关于气液两相流体输送中含气率的测量标准，该团体标准的制定，提出了对基于图像处理技术的管内气液两相流含气率测量方法。通过本检测方法，可以实现对含气率的量化评估，在实验室场景模拟不同工况下的气液两相流现象，研究含气率特征，也为工况下实现含气率实时监测提供了理论依据和技术视角。

五、与有关的现行相关法律、法规和强制性标准的关系

本标准符合国家有关法律、法规和相关强制性标准的要求，与现行的国家标准、行业标准相协调。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、标准中涉及专利的情况，明确标准中涉及专利的情况，对于涉及专利的标准项目，应提供全部专利所有权人的专利许可声明和专利披露声明；

无。

八、废止现行有关标准的建议

无。

九、贯彻标准的要求和建议

由本标准主要起草单位和起草专家进行标准的宣贯和讲解。

十、其他应予说明的问题

无。