

基于管壁取样的气液两相流量测量

梁法春^{1,2}, 王栋², 林宗虎²

(1. 中国石油大学储运与建筑工程学院, 257061, 东营; 2. 西安交通大学
动力工程多相流国家重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 为克服传统取样式多相流量测量方法取样口易堵塞的缺点,提出了通过管壁取样测量气液两相流体流量的新方法. 管壁四周均匀布置4个直径为2.5 mm的取样孔,并在上游采用旋流叶片将来流整改成液膜厚度均匀分布的环状流型,从而增强了取样的代表性. 分析表明,取样流体中的液相质量流量与主流体液相质量流量的比值主要取决于取样孔的数目和大小,而取样流体中的气相质量流量与主流体气相质量流量的比值则与主管路液相流量有关. 在管径为0.04 m的气液两相流实验回路进行的实验表明,在实验范围内液相取样比为0.049,基本不受主管气液相流量波动的影响,能够在宽广的流动范围内维持恒定. 液相流量最大测量误差为6.8%,气相流量最大测量误差为8.9%.

关键词: 气液两相流; 流量测量; 取样

中图分类号: O359 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)01-0052-04

Gas-Liquid Two-Phase Flow Metering with Pipe Wall Sampler

LIANG Fachun^{1,2}, WANG Dong², LIN Zonghu²

(1. College of Transport & Storage and Civil Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 2. State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The fluid extracted from the holes of the pipe wall is adopted for gas-liquid two-phase flow rate metering to avoid the blockage in the traditional sampling method. The pipe wall with four 2.5 mm diameter sampling holes and a spin generating element mounted upstream for modifying the inlet flow pattern are set up to improve the representative of the sampled fluid. The stratified flow, slug flow and asymmetry annular flow upstream become symmetry annular flow with uniform film thickness after the spin generating element. The liquid extraction ratio is only determined by the diameter and number of the sampling holes and independent of gas and liquid flow rate of the main pipe, and the gas extraction ratio is mainly controlled by the liquid flow rate of the main flow loop. The experiments have been carried out at a 40 mm diameter air-water two-phase flow loop, and the results indicate the liquid extraction ratio near 0.049. The maximum errors of the liquid and gas flow rate measurement approach to 6.8% and 8.9%, respectively.

Keywords: gas-liquid two-phase flow; flow rate measurement; sampling

气液两相流广泛存在于石油、化工、能源等许多工业领域,在有两相流动的系统,两相流体的流量

测量一般是无法避免的,也是未能很好解决的一个难题. 分流分相法是近年来出现的一种新型多相流

量测量方法,其特点是从被测两相流体中取样分流出一部分两相流体,将其分离成单相气体和单相液体,分别用单相流量仪表测量,然后根据取样流体与主流体间的关系推断出被测两相流体的流量^[1].为保证流量测量的精确性,分流出的取样流体与被测两相流体之间必须具有稳定和确定的关系,而实现这一目标的关键在于取样分配器的结构.取样管等传统取样分配器由于取样元件布置在主管内部,取样口极易被流体中高速运动的砂砾、铁屑等杂质颗粒磨蚀损坏,甚至造成取样通道堵塞^[2].如果取样口布置在管壁上,管内机械杂质等由于密度高、动量大,一般直接流入下游管路,很难改变方向进入管壁小孔.然而,气液两相流体通过管壁小孔的流动机理与三通管类似,不可避免地产生相分离,从而导致取样流体组分与主管被测流体之间出现差异^[3].本文通过增加管壁取样小孔数目和整改入口流型改善了取样效果,利用分流分相方法实现了气液两相流量的测量.

1 取样分配器结构及流量测量原理

1.1 取样器结构

水平管气液两相流由于重力的影响,造成管截面上气液相分布不均匀,即使在环状流型下,液膜沿周向分布也是不一致的,顶部液膜较薄,底部液膜较厚.因此,采用单孔取样方法很难保证取样效果,图1为本文设计的分配器结构示意图.取样孔有4个,直径均为2.5 mm,分别布置在主管顶部、底部以及左右两侧.为了消除气液界面波动对取样稳定性的影响,还需对管路上游流型进行调整.通过在取样孔上游布置旋流叶片,将分层流、弹状流以及不对称的环状流等流型转变为对称的环状流,那么管壁各个取样孔所取流体样品将趋于一致.这样,通过流型整改和多方位取样,大大增强了取样的代表性.

1.2 流量测量原理

图2为管壁取样器测量两相流体的原理图.根

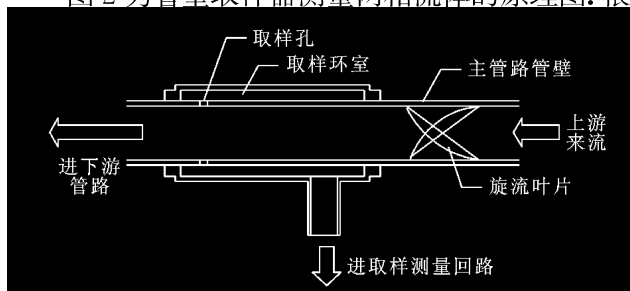


图1 旋流型管壁取样分配器结构

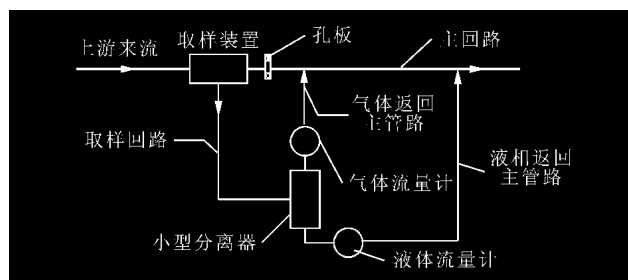


图2 管壁取样器两相流量测量原理图

据分流分相测量原理,通过管壁小孔进入取样回路的液、气相流量与主管液、气相流量具有如下关系

$$M_{IL} = \frac{M_{3L}}{K_L} \quad (1)$$

$$M_{IG} = \frac{M_{3G}}{K_G} \quad (2)$$

式中: M_{3L} 、 M_{3G} 分别为进入取样回路的液、气相质量流量,kg/s; M_{IL} 、 M_{IG} 分别为主管路的液、气相质量流量,kg/s; K_L 、 K_G 分别为液、气相分流系数(分流系数等于进入分流回路的液、气相质量流量与主管路的液、气相质量流量的比值)。

分流分相方法并不要求气相分流系数或液相分流系数为固定不变的常数,也不要求气相分流系数和液相分流系数完全相同,只要分流系数能够保持稳定或具有特定的变化关系就能实现气、液相流量的测量。

2 分流系数确定

2.1 液相分流系数

加上旋流装置后,管路流型调整为液膜厚度均匀的环状流,环状流型下的分流系数可以采用文献^[4]提供的方法计算

$$K_L = \frac{nd}{\pi D}(1-E)K_d \quad (3)$$

式中: n 为取样小孔数; d 为取样孔直径; D 为主管内径; E 为气芯中被夹带的液相占总液相的份额; K_d 为分配影响区修正系数.当分配器结构确定后, n 、 d 、 D 为固定常数.采用旋流叶片后绝大部分液体在离心力作用下贴着管壁流动,气芯中的液相很少, E 接近于0,当液膜分布均匀时液相分配区影响系数受其他因素影响较小,基本趋近一不变常数.因此,当分配器结构确定后,液相分流系数基本能保持定值。

2.2 气相分流系数

气相分流系数可根据分流取样回路与主回路间的阻力关系来确定.假设主管路为单相气体时进入

取样回路的气相质量流量为 M_{3G} , 如果此时主管中有液相加入, 会引起主流回路和分流回路的阻力变化, 进而引起气相和液相的重新分配. 文献[5]研究表明, 对于基于分流取样原理的气液两相流量测量方法, 气相分流系数与主管液相流量成线性关系, 可以写成

$$K_G = C + DM_{1L} \quad (4)$$

式中: C 、 D 为常数, 由实验确定. 式(4)显示, 气相分流系数并不是一个定值, 而是随液相流量变化而变化. 这是由于随着液相的加入, 两回路的阻力失去对称性引起的, 这种不对称性越大, 气相分流系数的变化幅度越大, 因此在分配器设计时应该尽量使两回路阻力特性接近对称.

3 实验结果分析

实验在直径为 40 mm 的空气-水两相流回路上进行, 来自压缩机的气相流量采用气体旋涡流量计测量, 液相流量采用孔板流量计测量, 气相和液相在混合器中混合后, 经过充分发展段进入安装了分流取样装置的测试段. 在测试段进入取样小孔的气液相流体在一小型计量分离器中完成气液相分离, 气相流量通过文丘里喷嘴流量计测量, 分流体液相流量通过称重法测量. 文献[6]分析表明, 由于分流体气相测量管路和液相测量管路分别独立地和主管路相连, 并且连接点的静压力已接近外界气压, 因此液相不返回主管路不会造成分流体回路和主流体回路相对阻力的变化, 即不会引起分流系数的改变. 实验出现的流型包括分层流、环状流以及弹状流.

实验表明, 旋流叶片引起的阻力损失较小, 固体颗粒杂质等也不会在此处沉积而引发阻塞. 图 3、图 4 反映了加设旋流叶片前后气液相分流系数的变化. 从图 3 可以看出, 加设旋流叶片后, 液相分流系数有两个明显变化: 一是液相分流系数基本维持为一不变常数, 这是因为旋流装置将入口流型整改成均匀环状流后, 消除了流型对分配的影响, 从而液相分流系数保持一个定值, 稳定在 4.9% 左右, 不受主管气液相流量波动的影响; 另一个变化是, 流型整改后的液相分流系数在数值上要小于不加旋流装置时的液相分流系数, 这是因为无旋流叶片时液相主要沉积在管壁底部, 底部液膜较厚, 气相进入底部小孔时阻力增加, 故进入底部取样小孔的基本全是液相. 当液膜均匀分布时, 由于液膜较薄, 气相在管内外差压作用下容易穿透取样小孔上部液层进入取样回路. 随着气体进入取样小孔, 小孔截面液相流通面积

进一步减小, 液相进入小孔的阻力增加, 从而导致进入取样孔的液量减少. 在实验测量中也可以观察到, 当液膜均匀分布时, 从 4 个取样孔进入取样回路的液相流量要小于不加旋流装置时进入取样回路的液相流量.

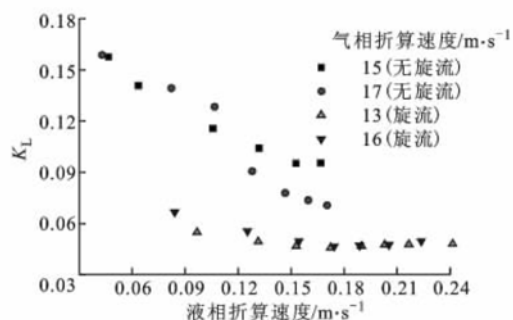


图3 流型整改对液相分流系数的影响

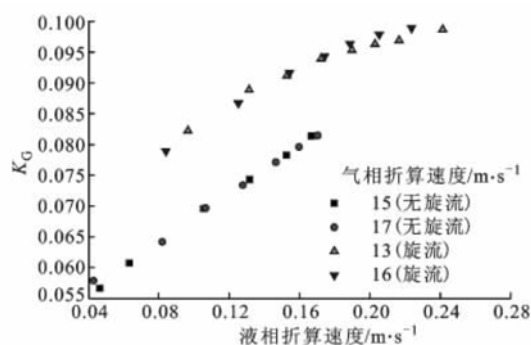


图4 流型整改对气相分流系数的影响

图 4 显示了流型整改对气相分流系数的影响. 加设旋流叶片后气相分流系数增加, 主要是因为气相密度小、动量低, 对阻力变化非常敏感, 进入取样回路的气体流量主要取决于分流回路和主流回路的阻力匹配关系. 取样回路和主流回路构成并联关系, 而并联管路具有压降相等的特征. 当加设旋流叶片后, 由于进入分流回路的液相流量减少, 进入主流回路的液相相对增加, 那么就会导致主流回路的阻力增加, 从而导致原先进入主流回路的一部分气体会改变方向进入取样回路来平衡两回路的阻力, 最终导致气相分流系数增加.

从图 4 还可以看到, 气相分流系数并不是一个定值, 设置旋流叶片后其值在 0.08~0.1 之间变化, 但气相分流系数与主管气体流量无关, 只与液相流量成线性关系, 可以表示为

$$K_G = 0.071 + 0.126M_{1L} \quad (5)$$

由于液相分流系数为一恒定值, 可由式(1)确定主管液相质量流量, 气相分流系数的大小可由式(5)计算, 确定出气相分流系数后, 主管气相流量可由式

(2)得出,图5、图6分别为利用4孔管壁取样分配器,采用分流分相法测得的主管液、气相质量流量与相应的实验值的比较。实验液相流量由混合器前单相液体管路上的孔板流量计测得,实验气相流量由混合器前单相气体管路上的旋涡流量计测得。实验结果表明,液相流量最大误差为6.8%,气相流量最大误差为8.9%。

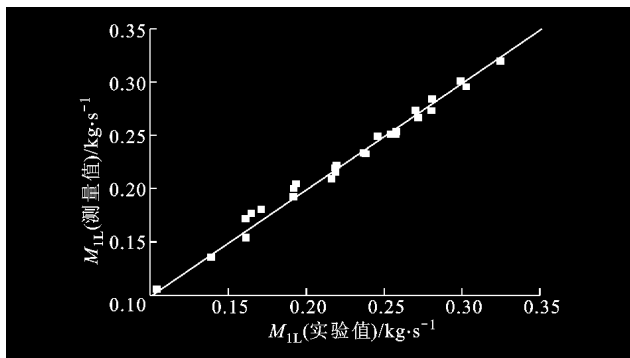


图5 液相流量测量值与实验值对比

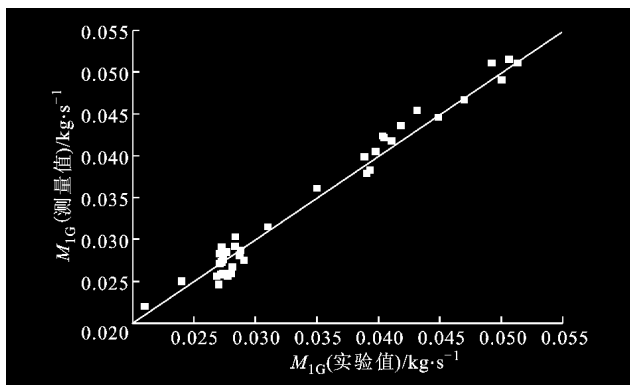


图6 气相流量测量值与实验值对比

4 结 论

本文设计了一种基于管壁取样的气液两相流体流量测量装置,通过分流分相原理实现了气液相流量的测量,并采用增加取样孔数目和改变气液相分布两种方法来保证进入管壁取样小孔的气液两相流体的代表性。通过分析发现,液相分流系数能基本维持于一不变常数,而气相分流系数与主管液相流量有关,能保持确定的变化关系。液相分流系数、气相分流系数的变化范围可通过调节主回路节流孔板的孔径大小来实现。

整个流量测量装置的分流系数很小,因此所需的分离器体积大大缩小,只有常规分离器的1/10左右,充分发挥了分流分相方法测量的优点,同时整个测量装置通过管壁取样,克服了常规取样装置取样口布置在管壁易被堵塞和磨损的缺点,可以应用于现场环境恶劣条件下的气液两相流量测量。通过对取样分配器进行改进,增加含水率测量设备,本文提出的旋流型管壁取样式流量测量方法还可以用于油气水三相流量的测量。

参考文献:

- [1] 王栋,林宗虎. 气液两相流体流量的分流分相测量法[J]. 西安交通大学学报, 2001,35(5): 441-444.
WANG Dong, LIN Zonghu. Extracting and separating method for gas-liquid two-phase flow measurement[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2001,35(5): 441-444.
- [2] 王栋,林益,林宗虎. 取样管型分流分相式气液两相流体流量计[J]. 工程热物理学报, 2002,22(2): 235-237.
WANG Dong, LIN Yi, LIN Zonghu. A ESM type gas-liquid two-phase flow meter with sampler tubes as distributor [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2002,22(2): 235-237.
- [3] AZZOPARDI B J. Phase separation at T junctions[J]. Multiphase Science and Technology, 1999,11 (4): 223-329.
- [4] 梁法春,王栋,林宗虎. 水平管气液环状流在新型分配器中的分配研究[J]. 西安交通大学学报, 2006,40(1): 106-110.
LIANG Fachun, WANG Dong, LIN Zonghu. Phase split of horizontal gas-liquid annular flow in a novel distributor[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006,40(1): 106-110.
- [5] 梁法春. 气液两相流体取样分配器及其在流量测量中的应用[D]. 西安: 西安交通大学能源与动力工程学院, 2006.
- [6] 王栋. 分流分相式气液两相流体流量计[D]. 西安: 西安交通大学能源与动力工程学院, 2000.

(编辑 荆树蓉 赵大良)