

文章编号:1673-5005(2008)04-0095-04

基于分时原理的气液两相流量测量

梁法春¹, 陈 婧¹, 王 栋², 林宗虎²

(1. 中国石油大学 储运与建筑工程学院, 山东 东营 257061;

2. 西安交通大学 动力工程与多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要: 取样式多相计量要求取样流体与主管被测流体保持稳定的比例关系, 基于这点, 为保证取样的代表性, 根据从时间上对多相流体进行取样的分时分配原理, 设计了基于该原理的转轮型分配装置, 实现了气液两相流量测量。利用空气-水为实验介质, 在气液两相流实验系统上进行了实验验证。实验中出现的流型包括波浪流、环状流及弹状流, 在实验范围内进入取样回路的气液相流量与主管被测流量保持稳定的线性关系, 液相、气相流量测量最大误差分别为 7.3% 和 7.5%。

关键词: 分时; 分配; 两相流; 流量测量

中图分类号: O 362 **文献标识码:** A

Gas-liquid two-phase flow metering by time-sharing method

LIANG Fa-chun¹, CHEN Jing¹, WANG Dong², LIN Zong-hu²

(1. College of Transport & Storage and Civil Engineering in China University of Petroleum,

Dongying 257061, Shandong Province, China;

2. State Key Laboratory on Power Engineering and Multiphase Flows in Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The stable relationship between the extracted stream and the measured multiphase flow is a crucial factor for the sampling measurement method. To assure that the sampled fluid was identical to the fluid measured, on the basis of the time-sharing and flow division theory, the corresponding rotational wheel type distributor was developed. Extensive experiments were carried out in an air-water two-phase flow loop, and the flow patterns observed during the tests included wavy flow, annular flow and slug flow. The experimental results show that the liquid flow rate extracted is linearly related with that of the main pipe, and the average measurement errors of the liquid flow rate and gas flow rate were 7.3% and 7.5% respectively.

Key words: time sharing; flow division; two-phase flow; flow rate measurement

气液两相流广泛存在于石油、化工、能源等工业领域, 两相流体的流量测量一般是无法避免, 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气液两相流量测量方法, 其特点是从被测两相流体中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进行测量, 然后根据比例关系推断出被测两相流体的流量^[1-3]。为保证流量测量的精确性, 分流出的分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^[4-5]。

多相流体通过三通型及取样管型分配器时通常会会发生相分离, 导致取样流体与主管内流体组成差别很大^[6-9]。为此, 笔者设计一种基于分时原理的转轮式两相流体分配器, 从时间上对被测管路内流体进行取样, 保证取样流体与被测流体的高度一致性, 并在此基础上利用该装置实现气液两相流体流量测量。

1 转轮分配器结构及工作原理

图 1 为实验采用的分配转轮结构示意图。转轮分配装置由转轮以及分流体收集室两大部分组成。

收稿日期: 2008-01-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(50376051)

作者简介: 梁法春(1977-), 男(汉族), 河南信阳人, 讲师, 博士, 主要从事多相流体分离与计量研究。

转轮的外径为 100 mm, 内部包含 3 个流道, 流道的出口角为 70°。流道的轮廓为螺旋线, 多相流体流过流道时产生旋转力矩, 驱动转轮旋转。转轮位于中心, 围绕转轮的分别是主流体接收窗口和分流体取样口。分流体取样口有 3 个, 每个取样口两侧布置一组隔栅。设置隔栅的目的是将旋转流道出口喷出的两相流体导入分流体取样口, 防止进入主流回路的流体进入分流回路。

来流从上部管道垂直流入转轮中心, 通过转轮流道时, 在切向力作用下, 推动转轮快速旋转, 气液两相流体从转轮流道喷出, 来流转换成了旋转射流。当流体出口掠过取样口时, 转轮内的多相流体经分流体取样口流入分流体收集室, 在此汇合后再进入分离器进行气液分离计量。其余大部分流体通过转轮与收集室外壁的间隙流入下游管道。

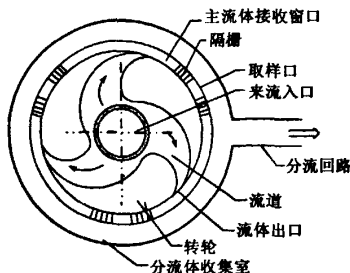


图1 转轮分配器结构示意图

可见气液两相流体通过转轮分配器在分流体和主流体之间分配时, 不是简单地从“空间”上一分为二, 而是在一定时间区间内全部流向一个回路, 而在另一时间区间内又全部导向另一回路, 如此周期性地交替循环完成分配。进入分流回路和主流回路的流量通过控制进入分流回路或主流回路的时间间隔来分配。这样不论遇到何种流型, 进入各回路的多相流体都具有高度一致的相含量, 其流量值仅与所分配的时间份额成比例。在分配过程中, 只要交替切换的频率足够高, 分配周期(分配周期为完成一次完整的分配循环的时间)足够短, 则两回路的流动过程就接近于连续流动。

2 气液两相流量测量原理

从分配转轮工作原理可以看出, 在一个分配周期的某一时间间隔内, 主管内的两相流体全部导入分流回路, 利用转轮分配器对主管内的多相流体进行分配的过程相当于对主管内的流体进行采样。若 T 表示一个“采样”周期, 也就是转轮旋转一周的时间, Δt 为一个周期内的“取样”时间, 即主流体全部

流向分流体回路的时间, 则在一个周期内流体流向分流体回路的质量与主流体流量具有如下关系:

$$\Delta t Q_j = T q_j \quad (1)$$

式中, Q_j 为主管流量; q_j 为对应的分流体流量; T 为分配周期; Δt 为分流时间。

由式(1)可以得出主管流量与取样分流量的关系为

$$Q_j = q_j \frac{T}{\Delta t} \quad (2)$$

若转轮旋转角速度为 ω , 则周期 T 为

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3)$$

若分流体取样口总长度为 L , 转轮半径为 R , 则在一个周期内通过分流体取样口的时间 Δt 为

$$\Delta t = \frac{L}{R\omega} \quad (4)$$

定义分时比 μ 为在一个分配周期内进入分流回路的时间占整个分配周期的份额, 即

$$\mu = \frac{\Delta t}{T} = \frac{L}{R\omega} \frac{\omega}{2\pi} = \frac{L}{2\pi R} \quad (5)$$

则式(2)可以改写为

$$Q_j = \frac{q_j}{\mu} \quad (6)$$

如果知道分时比 μ 就可利用式(6)计算主管流量, 从式(5)可以看出, 分时比只取决于转轮半径以及分流体取样口的宽度, 仅与转轮结构有关, 而与转速和流体的物性无关。当转速变化时, 旋转周期和分流时间都会变化, 但分时比 μ 仍为一恒定值。

根据采样定理, 只要满足抽样频率是原始时间连续信号最高频率的 2 倍, 根据抽样后的离散时间信号就可无失真地恢复原始信号。由于转轮转速很高, 在实验范围内转速达到 400 ~ 2000 r/min, 即流体采样频率很高, 达到 6.7 ~ 33.3 Hz, 因此, 分流流量完全可以跟踪主管流量的变化。

3 实验测量系统

图2为流量测量系统布置图。转轮分配机构采用竖直布置, 上游两相流体经过一个倒U型管后, 从上而下进入转轮分配器。如采用水平布置, 部分液体将在分配腔体内沉积, 不能及时流向下游主流回路, 这部分液体容易被气体携带进入分流回路。两相流体流过分配器时一部分进入分流回路, 在一小型分离器作用下分离成单相气体和单相液体, 气相流量采用文丘里喷嘴流量计测量。液相流量采用通径为 5 mm 的上海横河机电有限公司生产的

ADMAG AE 型电磁流量计测量,精确度为 $\pm 0.5\%$ 。分流体气相和液相流量经计量后通过三通混合,然后返回主回路。

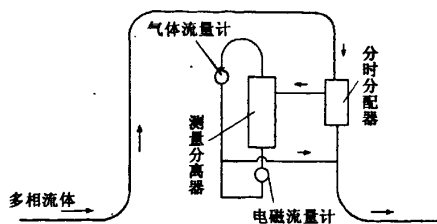


图2 转轮分配器流量测量系统

为了将流量测量结果与实际值进行对比,实验中还测量了主管气相流量和液相流量,其详细测量过程可参考文献[5]。

4 测试结果分析

根据上述实验系统测出分流体和主流体流量后就可绘制出二者关系曲线,见图3。从图中可以看出,二者呈良好的线性关系, M_{3L} 随 M_{1L} 的增长而呈线性增长。这是因为对于转轮分配器,取样比例只与取样口大小有关,而与转轮转速等无关。当转轮结构确定后,分时比 μ 为一固定常数,取样比等于分时比也维持不变。故当主管液体流量增大时,分流体液相流量也按比例增大,但比例系数保持不变,二者呈简单的线性关系,即

$$M_{3L} = a + bM_{1L} \quad (7)$$

式中, a, b 为常数。

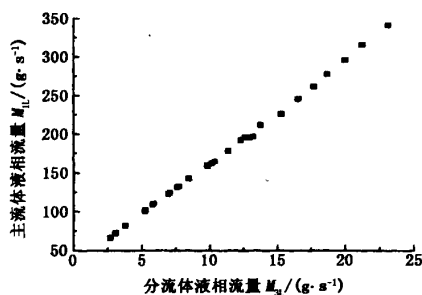


图3 分流体液相流量与主流体液相流量的关系

由式(7)可以很方便地通过分流体液相流量 M_{3L} 确定出主管内的液相流量 M_{1L} ,即只要测量了 M_{3L} 就可以准确地换算出 M_{1L} ,这就是分流分相法的基本原理。

图4是分流体气相流量 M_{3G} 与主管气相流量 M_{1G} 之间的关系曲线。从图中可以看出,二者也呈良好的线性关系,即

$$M_{3G} = c + dM_{1G} \quad (8)$$

式中, c, d 为常数。

这样就可以通过式(8)将分流体气相流量换算成主管气相流量。

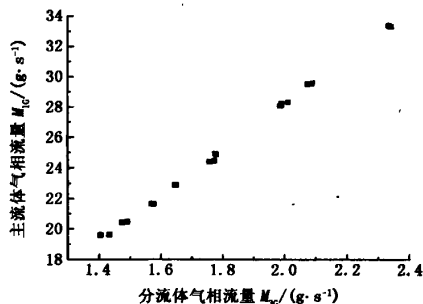


图4 分流体气相流量与主流体气相流量的关系

实验中出现的流型包括波浪流、环状流以及弹状流,在宽广的流量范围内,分流体气、液相流量与主流体分别呈简单的线性关系。液相、气相流量测量最大误差分别为7.3%和7.5%。

转轮型分配器也有一定的适用范围。与王栋等提出的转鼓型取样分配器^[10]一样,都具有运动部件,当介质中铁屑、沙粒等杂质较多时容易出现卡堵而影响取样效果。因此该分配器比较适合清洁的气液相流量测量,当测量杂质较多的介质时,前面应安装过滤装置。另外,被测流体气体分率很大时,容易产生震动导致磨损加剧,在此种工况下不宜长时间连续工作。

5 结论

(1)提出了基于分时原理的多相流体分配方法,从时间上对主管被测流体进行采样,保证了取样流体的代表性,避免了空间取样由于发生相分离所导致的取样流体与被测流体组分的非一致性。

(2)设计了基于分时原理的转轮型分配装置,能实现流体在主管路与取样分流管路间自由平稳切换。

(3)将转轮分配器作为取样装置,根据分流分相流量测量原理可以实现气液流量的准确测量。

(4)通过对该分配装置进行进一步改进,增加液相含水率监测仪表,该测量方法可进一步应用于油气水三相流量测量。

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 Zong-hu. 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, 林宗虎. 分流分相式两相流体流量测量方法: 中国, 98113068 [P]. 1999-09-15.
- [3] 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.
- [4] WANG Dong, LIN Zong-hu. Gas-liquid two-phase flow measurement using ESM [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2002, 26: 827-832.
- [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, 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, 23 (2): 235-237.
- WANG Dong, LIN Yi, LIN Zong-hu. A ESM type gas-liquid two-phase flow meter with sampler tubes as distributor [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2002, 23 (2): 235-237.
- [7] 王栋, 林益, 林宗虎. 利用 T 型三通测量气液两相流体的流量和质量含气率 [J]. 热能动力工程, 2002, 17 (4): 336-338, 348.
- WANG Dong, LIN Yi, LIN Zong-hu. Measurement of flow rate and dryness of a vapor-liquid two-phase fluid by using a T-junction [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2002, 17 (4): 336-338, 348.
- [8] 王栋, 张修刚, 林益, 等. 不等径水平三通的相分离特性研究 [J]. 工程热物理学报, 2003, 24 (2): 259-261.
- WANG Dong, ZHANG Xiu-gang, LIN Yi, et al. The split of two-phase flow at horizontal T-junction of unequal diameters [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2003, 24 (2): 259-261.
- [9] AZZOPARDI B J. Phase separation at T junctions [J]. Multiphase Science and Technology, 1999, 11 (4): 223-329.
- [10] 王栋, 林益, 林宗虎. 转鼓分流分相式气液两相流体流量测量技术研究 [J]. 西安交通大学学报, 2002, 36 (5): 457-460.
- WANG Dong, LIN Yi, LIN Zong-hu. Extracting and separating method type gas-liquid two-phase flow meter by using rotational drum as distributor [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002, 36 (5): 457-460.

(编辑 沈玉英)

(上接第 75 页)

- [7] 韩明, 白宝君, 王平美, 等. 冻胶类堵剂对油水的不同封堵能力研究 [J]. 石油钻采工艺, 1997, 19 (6): 53-57, 62.
- HAN Ming, BAI Bao-jun, WANG Ping-mei, et al. Comparison study on the plugging capability of water and oil [J]. Oil Drilling and Production Technology, 1997, 19 (6): 53-57, 62.
- [8] 李克华, 赵福麟. 冻胶堵剂堵水作用大于堵油作用的原因 [J]. 钻采工艺, 2000, 23 (3): 76-77.
- LI Ke-hua, ZHAO Fu-lin. The reason for function of water plugging of gel-type water shutoff agent more than its function of oil plugging [J]. Drilling and Production Technology, 2000, 23 (3): 76-77.
- [9] 英汉石油大辞典编写组. 英汉石油大辞典 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [10] 赵福麟. 油田化学 [M]. 东营: 石油大学出版社, 1999.
- [11] 张向宇. 实用化学手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.

(编辑 刘为清)

(上接第 81 页)

- [14] 柏松章. 碳酸盐岩潜山油田开发 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [15] T. D. 范 高尔夫·拉特. 裂缝油藏工程基础 [M]. 陈钟祥, 金玲年, 秦同洛, 译. 北京: 石油工业出版社, 1989.
- [16] 袁士义, 宋新民, 冉启全. 裂缝性油藏开发技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [17] 黄代国. 油藏岩心分析和采油机理实验论文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [18] 陈杰, 周改英, 赵喜亮, 等. 储层岩石孔隙结构特征研究方法综述 [J]. 特种油气藏, 2005, 12 (4): 11-14.
- CHEN Jie, ZHOU Gai-ying, ZHAO Xi-liang, et al. Overview of study methods of reservoir rock pore structure [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2005, 12 (4): 11-14.

(编辑 李志芬)