

旋流型管壁取样分配器分流特性

曹学文¹, 聂新刚¹, 梁法春¹, 文 闯¹, 徐 超²,
张钦杰², 李阳涛³, 卢 婧³, 商振新⁴

(1. 中国石油大学储运与建筑工程学院, 山东青岛 266580; 2. 海洋石油工程有限公司, 山东青岛 266520;
3. 中国石油西部管道公司, 新疆乌鲁木齐 830011; 4. 新疆油田重油开发公司, 新疆克拉玛依 834000)

摘要: 试制一种特殊的 T 型三通管结构取样器, 8 个取样孔均匀布置在管壁周围, 取样孔上游布置有旋流叶片用于流型调整。研究气液两相流通过该分配器的流动特性。采用 Euler 气液两相流模型和雷诺应力模型, 通过数值模拟方法分析节流元件尺寸对分配器分流特性的影响, 并在多相流试验环道上开展试验研究。结果表明: 旋流取样分配器特性受节流元件尺寸影响显著, 前后压力场的变化是分流系数发生变化的根本原因。

关键词: 旋流型取样分配器; 分流特性; 压力场; 节流; 取样

中图分类号: O 359 **文献标志码:** A

Extracting characteristics of swirled sampling distributor on pipe walls

CAO Xue-wen¹, NIE Xin-gang¹, LIANG Fa-chun¹, WEN Chuang¹,
XU Chao², ZHANG Qin-jie², LI Yang-tao³, LU Jing³, SHANG Zhen-xin⁴

(1. College of Pipeline and Civil Engineering in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. China Offshore Oil Engineering Company Limited, Qingdao 266520, China;
3. West Pipeline Company of PetroChina, Urumchi 830011, China;
4. Heavy Oil Development Company of Xinjiang Oilfield, Karamay 834000, China)

Abstract: A specially designed T-junction type distributor was proposed. The swirled sampling distributor has 8 sampling holes along the circumference of the pipe wall and a swirl element was mounted upstream for flow pattern adjustment. Euler multiphase flow model and Reynolds stress model were constructed to simulate the flow characteristics when gas-liquid two-phase flow passing the distributor. The effects of throttle sizes of the swirled sampling distributor on the extracting characteristics were numerically simulated. The experimental tests were carried out at air-water two phase flow loop to study splitting characteristics of the distributor. The results show that the effects of throttling element on the characteristics of cyclone samplers are significant. The change of pressure field is the most fundamental reason of the change of split coefficient.

Key words: swirled sampling distributor; extracting characteristics; pressure field; throttle; sampling

多相流的计量广泛应用于油气田开发过程中运输系统的管理和海洋油气田的开发等。在多相流计量中, 气液两相流的分配与计量是一个至关重要但又未能很好解决的难题^[1-2]。分流分相多相计量方法是近年来用于多相流计量领域的一种新方法^[3-6], 该技术的主要工作原理为: 采用一定的取样方式, 从

多相流管路中分流出一定比例的多相流体, 对其运用传统的分离计量法计量, 最终根据分流比反算, 进而得出多相流管路的流量。分流分相法中的测量仪表实现的是对单相的测量, 很好地克服了气液波动对测量精度的影响, 同时分流比例较小, 极大地缩减了分离器的体积, 不仅缩减了生产成本, 而且增加了

收稿日期: 2012-12-11

基金项目: 国家“863”高科技研究发展计划项目(2007AA09Z301); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2010EQ016); 声场声信息国家重点实验室开放基金(SKLA201205)

作者简介: 曹学文(1966-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向: 天然气加工与处理、油气水多相流理论及应用、海底管道技术等。E-mail: caoxw@upc.edu.cn。

测量的精度^[7-10]。但该技术必须保证气液相的分流比例在较宽的测量范围内保持稳定或具有确定的变化规律。笔者研究气液两相流通过该分配器的流动特性,采用 Euler 气液两相流模型和雷诺应力模型,通过数值模拟方法分析节流元件尺寸对分配器分流特性的影响,并在多相流试验环道上开展试验研究。

1 结构优化

旋流型管壁取样分配器主要结构如图 1 所示。

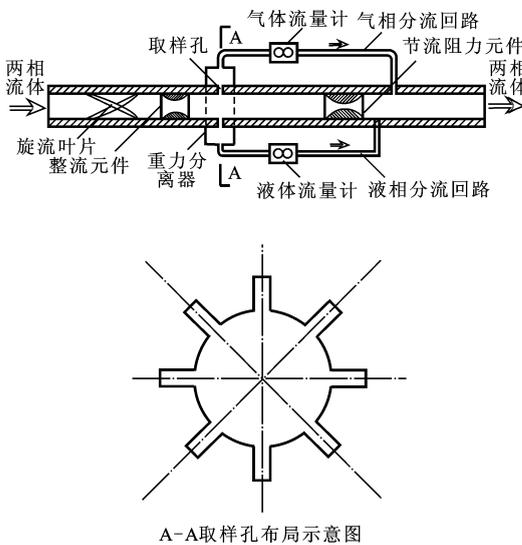


图 1 旋流型管壁取样分配器示意图

Fig. 1 Sketch map of swirled sampling distributor on pipe wall

从图 1 中可以看出,取样孔相当于一个内径较小、长度较短的侧支管,且因为开了 8 个取样孔,相当于 8 个异径三通管沿圆周并联。与传统的异径三通管相比,管壁取样分配器具有不同的特点,主要体现在几方面^[11]:

(1)主管入口添加了交叉椭圆叶片和整流元件,气液分层流、不均匀环状流经过交叉椭圆叶片和整流元件后,形成了较为均匀的环状流。

(2)由于取样孔截面流型为环状流,认为液膜首先进入侧支管(即满足液相优先分配原则),然后气相穿透液膜进入侧支管,气相对液相有拖曳作用。

(3)取样孔内径与主管内径的比值很小,且取样孔的长度很短,为壁厚。

(4)分流出的气体和液体最终返回主管内,即主流回路和分流回路闭合,因此主流回路和分流回路的压降相等。

2 数值模拟

2.1 几何模型与网格划分

考虑到分配器主流回路的压降主要集中在节流元件处,分流回路的压降主要集中在取样孔处,故将分离器和气液相分流回路去掉,对该分配器结构进行简化。通过改变节流元件喉部的直径,利用数值模拟和试验研究相结合的方法分析压力场改变对分配器分流特性的影响。管段采用内径 40 mm 的圆管,取样孔数目为 8,取样孔内径为 5 mm,孔深 10 mm。几何模型如图 2 所示。使用 Gambit 软件对流域进行网格划分。采用六面体和四面体网格单元,并对取样孔和节流元件处进行网格加密,以保证计算的精度和收敛的稳定性。



图 2 取样器三维模型

Fig. 2 3-D model of distributor

2.2 多相流与湍流模型

所模拟的流体是相界面分明的空气-水,属于非颗粒流体流动,且取样孔处气液要实现分流,须准确捕捉每一相的速度、相含率等参数,故选取 Euler 模型进行计算,提高计算精度。雷诺应力模型(RSM)在预测流线弯曲、漩涡、旋转等方面具有较高的精度,故选用 RSM 模型^[12]。

2.3 边界条件

入口采用流量入口(flow rate-inlet)边界条件,出口采用压力出口(pressure-outlet)边界条件,壁面采用无滑移壁面(wall)边界条件。

3 数值模拟结果

3.1 节流元件对单相气分流的影响

计算中设定入口气量为 0.1011 kg/s,模拟得到单相气通过取样分配器时,改变节流元件喉径(22 mm 和 14 mm),气相分流系数的模拟值分别为 0.075 和 0.25,取样孔截面不同的速度矢量如图 3 所示。

由图 3 可以看出,速度矢量的变化主要集中在 3 处,节流元件喉径变小后,区域 1 的回流量明显减少,漩涡程度降低;区域 2 流线的扭曲程度增强;区域 3 的流线回流进入取样孔。这 3 个区域气体流线的变化,增大了“分流影响区域”,使得进入取样孔的气量显著增加,单相气的分流系数增大。

3.2 节流元件对气液两相分流的影响

设定入口气量为 0.101 1 kg/s,入口液量为 0.242 kg/s,入口液膜厚度为 3 mm,模拟了节流元件改变前后一定量的气液通过取样孔分配器时,气液相分流流线的变化,得到的速度矢量图如图 4 所示。由图 4 可见,节流元件喉径由 22 mm 变为 14 mm 后,

气液相的流线都发生了很大的扭曲(箭头 1 处所示),使进入主流回路和分流回路的流体的分流面后移,更多的气液量进入了取样孔,且节流元件喉径变小,取样孔中的相分数变低,说明气液间相互作用增强,气体的携液能力增强,液相分流系数也增大。

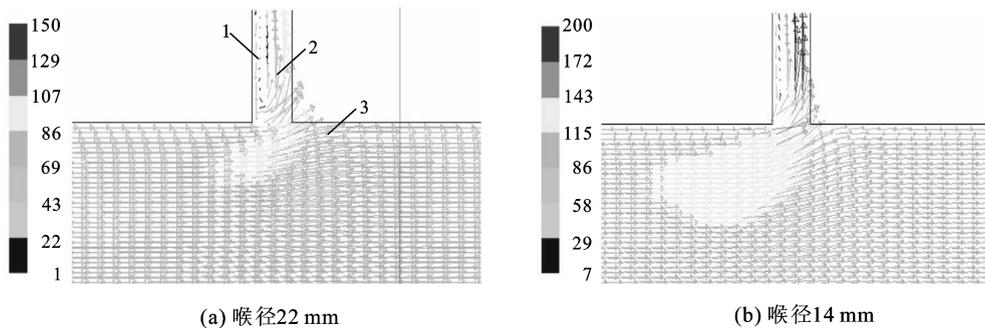


图 3 单相气的速度矢量图

Fig. 3 Velocity vector of single gas flow

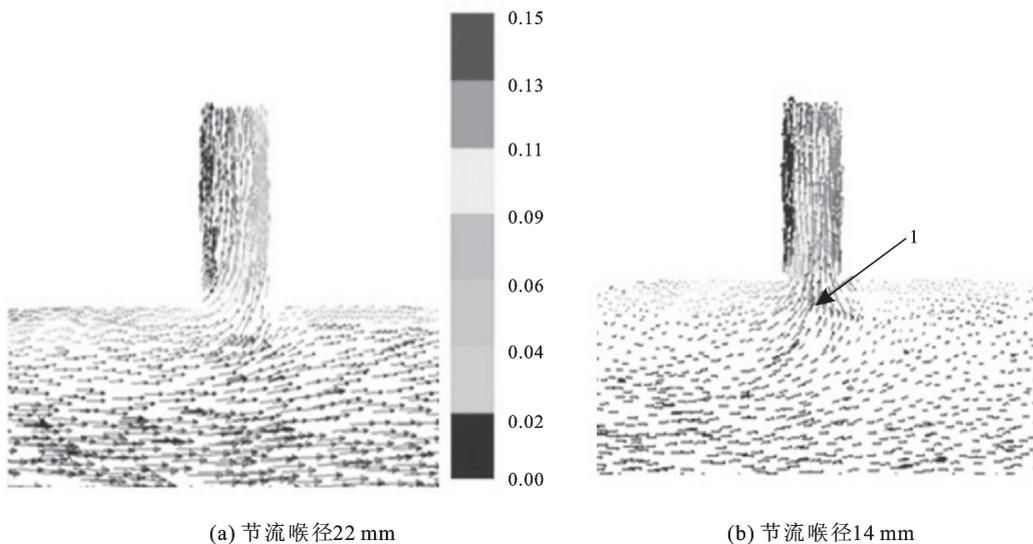


图 4 气液两相通过管壁小孔的速度矢量

Fig. 4 Velocity vector of gas-liquid two phase flow through pipe wall hole

4 试验

4.1 试验流程

图 5 为气液两相流试验环道示意图。试验介质采用空气和水,管道和取样孔的尺寸与模拟采用的几何模型尺寸保持一致。

定义分流系数为进入取样回路的气、液相流量占上游主管路气液流量的比例,即

$$K_G = \frac{M_{3G}}{M_{1G}}, K_L = \frac{M_{3L}}{M_{1L}}$$

通过调整节流元件尺寸,可以考察分配器前后阻力变化对分流系数的影响。

4.2 结果分析

4.2.1 节流元件喉径变化对气相分流系数的影响

图 6 为气量一定、不同节流元件下气相分流系数随主管液量的变化。从图 6 可以看出,不安装节流元件时,只有当主管液量增大到一定值时,才有气体从取样孔中流出,这也证明了节流元件是旋流型管壁取样多相计量装置中必不可少的部分。

不同的节流元件在气量一定时,随主管液量的增加,气相分流系数与主管液量呈线性变化;但是相等气液量下,节流元件喉径越小,气相分流系数越大。这是因为节流元件喉径减小后,在相等气液量下,主流体回路的压阻增大,额外的一部分气量会进

入取样孔,平衡分流回路的压力,造成气相分流系数增大。图6中直线的斜率近似相等,可以认为不同的节流元件下,气相分流系数随液相增加的变化率近似是相同的,相当于随着节流元件喉径变小,直线向上方平移。

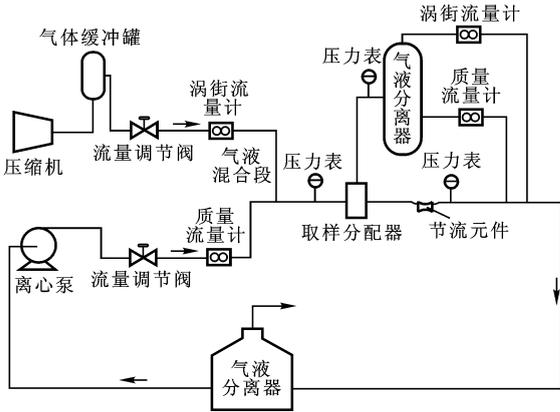


图5 多相计量试验流程图

Fig. 5 Flow chart of multiphase flow metering experimental system

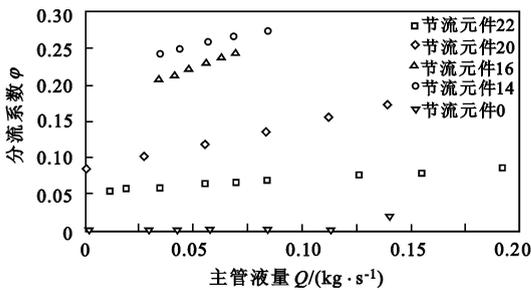


图6 气量一定、不同节流元件下气相分流系数随主管液量的变化

Fig. 6 Effect of throttle size on gas split coefficient with fluid volume changing at certain gas volume

4.2.2 节流元件喉径变化对液相分流系数的影响

图7为不同节流元件下,液相分流系数随主管液量的变化。从图中可以看出,同一节流元件喉径下,液相分流系数在较高液量下基本保持定值;随节流元件喉径减小,液相分流系数虽然仍能保持定值,但液相分流系数的值明显增大。这是因为,节流元件喉径变小时,取样孔处的压力场发生较大变化,取样孔两侧的压降增大,结合对气相分流系数的分析可知,气相分流系数会增大,增加的气量会拖拽一部分液量进入取样孔,从而增大了分流液量。

将节流元件变化对气相和液相分流系数的影响进行对比可知,气相分流系数变化的幅度明显大于液相分流系数的,说明气相动量小,对压力场的变化比液相更加敏感。

和整流元件的不完善造成的。

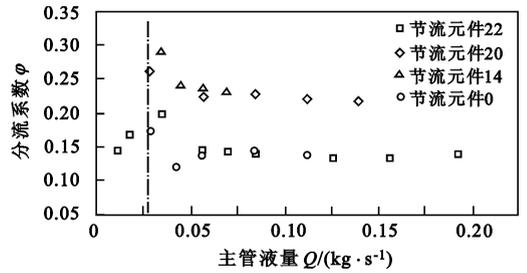


图7 不同节流元件下,液相分流系数随主管液量的变化
Fig. 7 Effect of throttle size on liquid split coefficient when fluid volume changing

5 结论

(1) 节流元件的改变会引起取样孔处压力场的变化,使气液相流线的扭曲度发生改变,从而改变了“分流影响区域”的大小,使气液相分流系数发生较大变化。

(2) 调节节流元件大小会改变分配器前后压差,进而导致气液相分流系数发生改变。

(3) 气体和液体对压力变化的敏感程度不同,但只要压力场不发生较大的突变,分配器结构一定时,其液相分流系数基本保持恒定,气相分流系数与主管液量呈线性变化。

参考文献:

[1] BOYER C, LEMONNIER H. Design of a flow metering process for two-phase dispersed flows [J]. International Journal of Multiphase Flow, 1996, 22(4): 713-732.

[2] FANG Lide, ZHANG Tao, JIN Ningde. A comparison of correlations used for Venturi wet gas metering in oil and gas industry [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007, 57(3/4): 247-256.

[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.

WANG Dong. Gas-liquid two-phase flowmeters with extracting and separating method [D]. Xi'an: School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, 2000.

[4] 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.

- Chemical Industry and Engineering, 1998, 49(6): 721-724.
- [6] 曲乐, 贾林祥. 相变换热混合工质板翅式换热器流动与传热数值模拟[J]. 低温与超导, 2008, 36(4): 23-25.
QU Le, JIA Lin-xiang. Numerical simulation of fluid flow and heat transfer of refrigerant mixture for plate-fin exchanger with phase change [J]. Cryogenics and Superconductivity, 2008, 36(4): 23-25.
- [7] 刘剑, 杨勇, 邱庆刚. 基于神经网络的热力站换热器系统的预测控制[J]. 节能, 2007, 12: 28-30.
LIU Jian, YANG Yong, QIU Qing-gang. Prediction control simulation of heat substation system based on neural networks [J]. Energy Conservation, 2007, 12: 28-30.
- [8] 叶东晖, 徐益峰, 伍贻文. 多股流换热器传递函数系数的理论确定方法[J]. 上海理工大学学报, 1998, 20(3): 215-218.
YE Dong-hui, XU Yi-feng, WU Yi-wen. The theoretical determination of the coefficients of transfer function for a multistream heat exchanger [J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 1998, 20(3): 215-218.
- [9] 陈海阳, 李玉星, 孙法峰, 等. LNG FPSO 液舱内储液晃动特性的数值模拟[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(4): 134-143.
CHEN Hai-yang, LI Yu-xing, SUN Fa-feng, et al. Numerical simulation of liquid sloshing characteristics in LNG FPSO containers [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(4): 134-143.
- (编辑 沈玉英)

(上接第 154 页)

- [5] 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.
- [6] 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. LIANG Fa-chun. Samplers of gas-liquid two-phase flow and their applications in flow metering [D]. Xi'an: School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, 2006.
- [7] 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 Fa-chun, WANG Dong, LIN Zong-hu. Phase split of horizontal gas-liquid annular flow in a novel distributor [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006, 40(1): 106-110.
- [8] 梁法春, 王栋, 林宗虎. 基于管壁取样的气液两相流量测量[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(1): 52-55.
LIANG Fa-chun, WANG Dong, LIN Zong-hu. Gas-liquid two-phase flow metering with pipe wall sampler [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(1): 52-55.
- [9] 王栋, 梁法春, 张炳东, 等. 多相流体流量测量的采样分流方法[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(1): 103-107.
WANG Dong, LIANG Fa-chun, ZHANG Bing-dong, et al. Multiphase flow measurements by flow sampling [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009, 43(1): 103-107.
- [10] 张炳东, 刘丹, 王栋. 分相式气液两相流体等干度分配方法[J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(5): 106-110.
ZHANG Bing-dong, LIU Dan, WANG Dong. Equal quality distribution of gas-liquid two-phase flow using phase separation method [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2010, 44(5): 106-110.
- [11] 曹学文, 吴梁红, 宗媛, 等. 旋流型管壁分配器取样孔分流特性[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(1): 119-123.
CAO Xue-wen, WU Liang-hong, ZONG Yuan, et al. Extracting characteristics of pipe wall sampling hole in swirled distributor [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(1): 119-123.
- [12] POPE S B. Turbulent flows [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- (编辑 沈玉英)