

文章编号:1673-5005(2011)01-0119-05

旋流型管壁分配器取样孔分流特性

曹学文, 吴梁红, 宗媛, 杨涛, 张文静

(中国石油大学 储运与建筑工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:通过对取样孔的气液两相流的数值模拟和室内试验,探索取样孔的分流特性,考察取样小孔的结构(包括孔数、轴向取样位置、大小、形状和在圆周方向上的开孔位置)对取样的稳定性和均匀性及分流系数的影响。结果表明:液相分流系数与主管气相折算速度关系较小;当主管液相流速大于 0.08 m/s,取样孔数目为 8,直径为 5 mm,位置距离整流器出口 50 mm 时,分流效果最好,能保证取样的均匀性和稳定性;数值模拟的液相分流系数平均值为 0.064,与试验实测结果 0.08 相差较小。

关键词:气液两相流; 流量测量; 分流分相法; 分流特性; 取样孔; 分流系数; 数值模拟

中图分类号: TE 868 **文献标志码:** A doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2011.01.024

Extracting characteristics of pipe wall sampling hole in swirled distributor

CAO Xue-wen, WU Liang-hong, ZONG Yuan, YANG Tao, ZHANG Wen-jing

(College of Storage & Transportation and Architectural Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: Based on the gas-liquid two-phase flow numerical simulation and experimental study on the flow rate measurement for sampling hole, extracting characteristics of sampling hole were investigated. The influence of sampling holes' number, location in the axial direction, size, shape, and opening location on the circumference, on the stability and uniformity of sampling and the liquid phase extraction ratio was analyzed. The results show that the liquid phase extraction ratio bears little relation to main gas reduced velocity. The sample is of uniformity and stability when the liquid phase extraction ratio of the primary pipeline is more than 0.08 m/s and eight sampling holes with the diameter of 5 mm as well as the holes located 50 mm away from the rectifier outlet. Under these circumstances, the simulated liquid phase extraction ratio is about 0.064, which is very close to the experimental results of 0.08.

Key words: gas-liquid two-phase flow; flow rate measurement; extracting and separating method; extracting characteristics; sampling hole; extraction ratio; numerical simulation

气液两相流广泛存在于石油、化工、能源等许多工业领域,两相流体的流量测量一直是多相流研究前沿。分流分相法是一种新型两相流量测量方法,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比例关系计算被测两相流体的流量^[1]。分流取样方法的关键是利用分配器从主管路取得部分两相流样

品,取样量与被测主管路流量保持稳定和确定的比例,取样孔具有好的分流特性是实现这一目标的关键。目前已有三通管型、取样管型、转鼓型、转轮型、旋流型管壁等取样分配装置的研究,其中旋流型管壁取样孔通过多孔取样和流型整改保证了取样的代表性,无运动部件,取样孔不易堵塞,适于海上油气田的开发。近几年,国内学者对旋流型管壁取样孔做了相应的试验研究工作^[2-5],主要集中在对取样孔

收稿日期:2010-01-20

基金项目:“863”国家高科技研究发展计划项目(2007AA09Z301);国家科技重大专项课题(2008ZX05017-004-)

作者简介:曹学文(1966-),男(汉族),山东昌邑人,教授,博士,博士生导师,主要从事天然气加工与处理、油气水多相流理论及应用、海底管道技术等研究。

数和大小的研究上,并没有充分考虑到取样小孔的取样位置、形状和在圆周上的开孔位置也决定着分流系数的大小和稳定。因此,笔者结合对取样小孔的气液两相流的数值模拟和室内试验研究,探索取样孔的分流特性,以保证取样的稳定性和均匀性以及液相分流系数(取样孔分出的总液体质量和主管液相质量的比值)的稳定。

1 旋流型管壁取样分配器结构及流量测量原理

1.1 分配器结构

气液两相流在管路中流动,其流动特性复杂,不同的流量下形成的流型不同,如果只是采取管壁上开孔取样,会导致取样缺乏代表性,不能反映整个取样截面的气液相分布状况。为了使其不受流型的影响,在设计管壁取样的基础上又增加设计了整流装置:旋流叶片^[6]和整流器。来流经过旋流叶片使两相流体产生旋转运动,使原来不对称分布的液膜、液滴在圆周方向进行混合和重新分布,变成一种关于轴线对称的流型;再经过整流器的整改,进一步改善相分布和速度分布的对称性,最终将分层流、段塞流、波浪流以及不对称的环状流等其他流型转变为对称的环状流,使管壁的每一个小孔取样均趋于一致,实现分流系数的恒定。图1为设计的旋流型管壁取样分配器结构示意图。

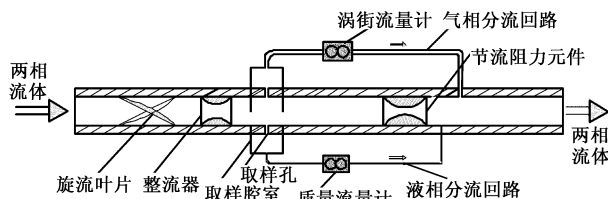


图1 旋流型管壁取样分配器结构示意图

Fig.1 Structure of swirled pipe wall sampling distributor

1.2 取样孔结构

取样小孔的取样位置、大小、形状和在圆周上的开孔位置不仅关系到取样的稳定性和均匀性,还直接决定着分流系数的大小和稳定性。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。采用单孔取样方法很难保证取样效果^[7],双孔和六孔取样不能完全消除重力对取样的影响,奇数孔取样由于其对称性不好也不能保证取样效果;四孔和八孔取样由于其对称性和多方位,可以弥补单孔取样方法的不足,取样效果较好,但是孔数的增加会带来分流通路流

量的增加和两相分离器尺寸的加大,因此取样孔设计为2种布置形式(图2),分别为取样孔沿周向均匀分布的4孔和8孔取样结构。

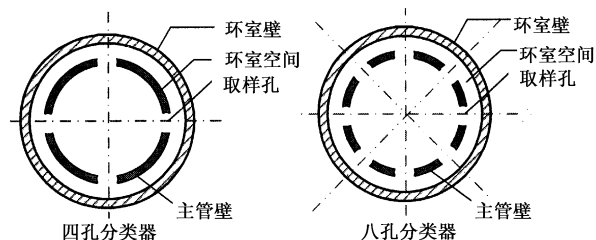


图2 取样孔结构图

Fig.2 Structure of sampling hole

2 取样器数值模型的建立

2.1 取样器几何模型

取样器几何模型截面图如图3所示。

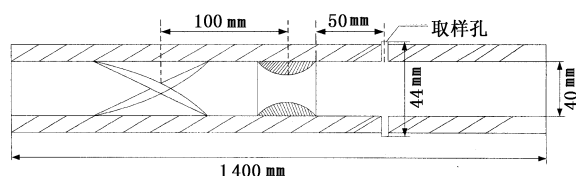


图3 取样器截面图

Fig.3 Section of sampling device

2.2 计算模型

FLUENT中基于欧拉-欧拉方法的模型有VOF模型、混合模型和欧拉模型。本文模拟气液两相流混合流动的分配问题,不适用VOF模型,因此选用混合模型或欧拉模型。考虑到欧拉模型的计算精度高,所以对于该问题的流场计算采用欧拉模型^[8]。

2.3 网格划分

用GAMBIT软件对计算区域进行网格划分,采用3D网格单元包括六面体、四面体,并且对网格进行局部加密,以提高数值模拟的精度。

2.4 湍流模型

RNG $k-\varepsilon$ ^[9]模型适用于涉及快速应变、中等涡、局部转换的复杂剪切流动,RNG模型相比于标准 $k-\varepsilon$ 模型对瞬变流和流线弯曲的影响能作出更好的反应。由于分配器中含有旋流叶片,因此,对于分配器气液两相流的流动采用RNG $k-\varepsilon$ 模型。

2.5 边界条件和初始条件

数值模拟中的流体介质为空气和水,入口设置为速度入口,由于液相分流系数与主管气相折算速度关系较小,因此保持气相入口折算速度不变。气相折算速度由主管气体涡街流量的流量和管径折算得到,为16 m/s;液相入口折算速度则由主管液量

质量流量和管径折得到,为 0.2 m/s,液相的体积含液率都为 0.2,出口都设置为压力出口;管道内壁和叶片表面选择 wall 为壁面边界条件。

3 数值模拟结果分析

3.1 取样孔数对分流特性的影响

为了进一步对比 4 孔取样和 8 孔取样对分流特性的影响,保持其他各参量不变,分别对周向孔数为 4 和 8 的圆形取样孔(孔径为 3 mm)进行了数值模拟,结果见图 4。

从图中可以看出,随着液相流量的增大,取样孔的分液相流量也相应的增大,这主要是由于液膜厚度的增大造成的,而且从 Fluent 质量报告中还可以看出液相分流系数基本上与取样孔的数目成正比。8 孔的液相分流系数几乎为 4 孔的液相分流系数的 2 倍,此外 8 孔取样较 4 孔取样更均匀,各孔的流量基本上趋于一致,因此液相分流系数更加稳定,能更好地消除重力的影响,分流效果更好。

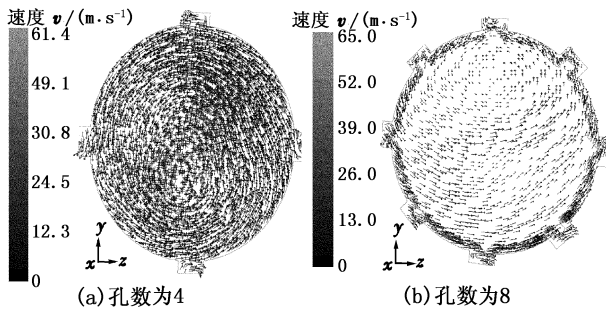


图 4 孔数不同时取样孔截面出口处的液相速度矢量分布图

Fig. 4 Distribution of liquid phase velocity vector of sampling hole's section for different number of hole

3.2 取样孔形状对分流特性的影响

在取样孔个数确定的条件下,液相分流系数的大小和稳定性主要取决于取样孔的形状、大小和在圆周上的取样位置。在保证取样孔面积不变的前提下,分别对直径为 5 mm 的圆孔、矩形孔和正方形孔进行了数值模拟,图 5 是各种孔形下取样孔所在截面处的液相速度矢量分布。

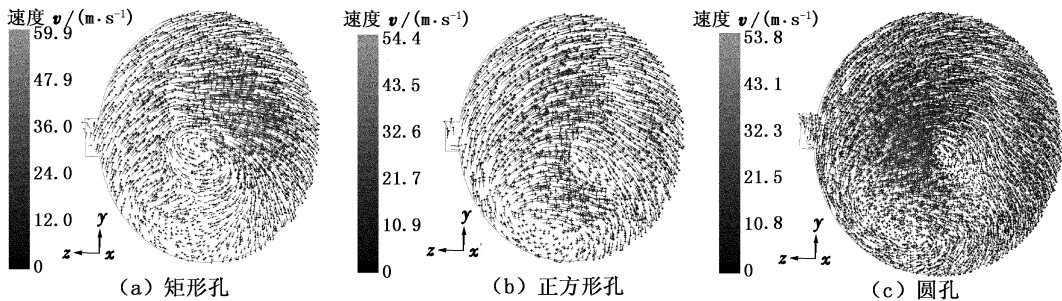


图 5 矩形孔、正方形孔和圆孔下取样孔截面处液相速度矢量分布图

Fig. 5 Distribution of liquid phase velocity vector of sampling hole's section for rectangle, square and circular hole

从图 5 中可以看出圆孔的取样效果更好,流场的分布更均匀,水相的分流系数比较稳定,而矩形孔和正方形孔的取样效果不理想,流场的分布比较紊乱,不利于分流取样计量。

3.3 取样孔尺寸对分流特性的影响

取样孔的尺寸也直接关系到取样的均匀性、稳定性、液相分流系数以及两相分离器的尺寸。取样孔大,流体流过取样孔时,压力损失小,气相更容易击穿液膜进入小孔,增大了液相的分流系数,加上重力的影响和气体扰动作用,取样不均匀,同时取样腔室流体流量的增大势必会带来两相分离器尺寸的增加。图 6 为取样孔直径为 7.5、5 和 3 mm 时取样孔所在截面处的液相速度矢量图。

从图中可以看出,随着取样孔径的增大,液相的分流系数越来越均匀,液相速度的分布也越来越均

匀,但是同时也带来液相分流系数的增加。当取样孔直径为 7.5 mm 时,从液相质量流量报告中计算液相分流系数已经到了 0.11 左右,这样势必会造成两相分离器尺寸的增大,发挥不了分流分相式多相计量的优势;取样孔直径为 3 mm 时,液相分流系数比较紊乱,有些取样孔基本上没有液相流出,原因可能在于孔径太小时,气体冲破液膜后高速喷出,携带的液相基本上都呈雾状。因此,取样孔直径为 5 mm 分流效果应该最理想。

3.4 取样孔的安装位置对分流特性的影响

在孔径和孔数(8 个)以及形状一定的条件下,取样孔在圆周上的分布也关系到取样的均匀性、稳定性和液相分流系数。当只有一个取样孔并且位于管道顶部时,液相分流系数基本上为 0^[10];当取样孔位于管道底部时,液相分流系数基本上为 1。数值模拟

时,为了保证对流场的干扰性最小,采用对称开孔,开孔的位置变化如图 7 所示。

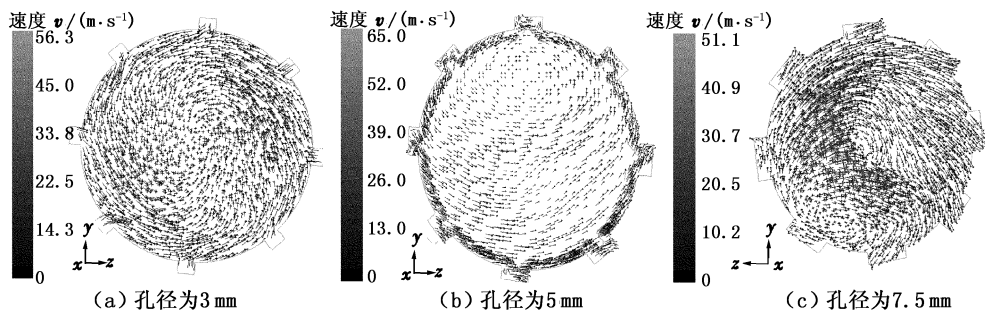


图 6 取样孔直径不同时取样孔截面处的液相速度矢量分布图

Fig.6 Distribution of liquid phase velocity vector in sampling hole's section for different size of sampling hole

图 8 为取样孔在圆周上取样位置不同时孔出口处的水相速度矢量分布。由于采用对称开孔,0°和 90°时开孔的情况重合。

从图 8 可以看出,圆周上开孔位置的变化对取样孔截面处液相的速度矢量分布影响很小,液相速度的分布都比较均匀,分流取样效果都很理想,这也进一步验证了 8 孔取样的合理性和必要性。

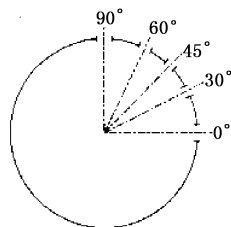


图 7 取样孔在圆周上的开孔位置示意图

Fig.7 Sketch map of opening location on circumference of sampling hole

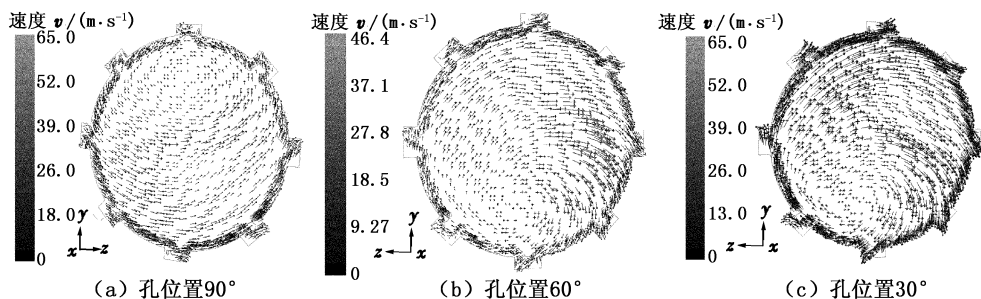


图 8 取样孔在圆周上取样位置不同时取样孔截面处液相速度矢量分布图

Fig.8 Distribution of liquid phase velocity vector of sampling hole's section different location on circumference

4 数值模拟与试验对比

当主管气相和液相入口速度分别为 16.6 m/s (流量 300 m³/h) 和 0.10 m/s, 16.6 m/s 和 0.12 m/s, 16.6 m/s 和 0.14 m/s, 16.6 m/s 和 0.17 m/s 四种工况,取样孔数目为 8,孔径为 5 mm,开孔位置距离整流器出口 50 mm,并且孔在圆周上的分布位置为 45°方向时,数值模拟的结果见图 9。液相分流系数稳定,其平均值为 0.064。

在中国石油大学(华东)多相管流环道试验架进行的试验发现,当主管液相流速大于 0.08 m/s(流量 0.72 m³/h)时,其液相分流系数趋向于一个稳定值 0.08。当液相流速小于 0.08 m/s 时,其液相分流系数呈现分散现象,液相分流系数最大为 0.12,最小值降到了 0.03。试验证明液相分流系数与主管气相折

算速度关系较小。液相分流系数数值模拟计算值与

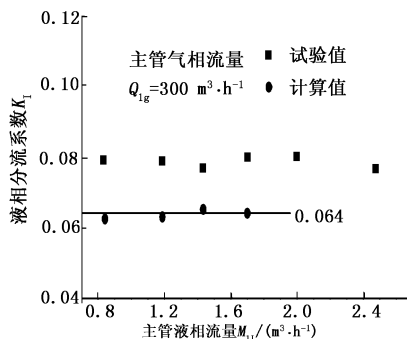


图 9 液相分流系数与主管液相流量的关系

Fig.9 Relationship between liquid extraction ratio and main liquid flow rate

试验值相近,随主管液相流速变化分流系数值是稳定的,试验结果充分验证了数值模拟计算方法的正确

性。试验结果证明了数值模拟计算选取的旋流型管壁取样器的分流取样效果好,分流系数稳定。

5 结 论

(1)液相分流系数与主管气相折算速度关系较小。

(2)8孔取样的水相分布情况更均匀,能更好地消除重力作用的影响,分流效果更理想。

(3)取样孔直径为5 mm,并且在圆周上均匀分布,且开孔位置距离整流器出口50 mm,当主管液相流速大于0.08 m/s,模拟结果表明此时取样孔分流效果最佳,能保证取样的均匀性和稳定性,液相分流系数趋于一致,模拟计算的平均值为0.064,试验测试液相分流系数也趋向于一个稳定值0.08,两者比较符合。

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] WANG Dong, LIN Zong-hu. Gas-liquid two-phase flow measurement using ESM[J]. Experimental Thermal and Fluid Science,2002,(26):827-832.
- [3] 林宗虎,王栋,王树众,等. 多相流的近期工程应用趋向[J]. 西安交通大学学报,2001,35(9):886-890.
LIN Zong-hu, WANG Dong, WANG Shu-zhong, et al. Recent trend towards engineering application of multiphase flow[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2001, 35(9):886-890.
- [4] 梁法春,陈婧,王栋,等. 分流分相式多相流量计研究进展[J]. 石油矿场机械,2008,37(4):13-16.
LIANG Fa-chun, CHEN Jing, WANG Dong, et al. Research progress on ESM in multiphase flow metering[J]. Oil Field Equipment,2008,37(4):13-16.
- [5] 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,2001,42(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.
- [6] 郑俐丹,赵宏,薛敦松. 油气多相泵的最新研究进展[J]. 水泵技术,2001(3):15-19.
ZHENG Li-dan, ZHAO Hong, XUE Dun-song. The development of oil-gas-liquid multiphase pump[J]. Pump Technology, 2001(3):15-19.
- [7] 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. Gas-liquid two-phase flow sampling device and the flow measurement applications[D]. Xi'an: College of Power Engineering and Engineering Thermophysics of Xi'an Jiaotong University, 2006.
- [8] 马宁. 旋流型管壁取样分配器技术研究[D]. 东营:中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院,2009.
MA Ning. Study on Swirled Sampler Along the Circumference[D]. Dongying: College of Storage & Transportation and Architectural Engineering China University of Petroleum (East China),2009.
- [9] 王福军. 计算流体动力学分析:CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:124-125.
- [10] 梁法春,多相流体比例分配方法及流量测量[D]. 西安:西安交通大学能源与动力工程学院,2006.
LIANG Fa-chun. Gas-liquid two-phase flow proportional division method and flow rate metering[J]. Xi'an: College of Power Engineering and Engineering Thermophysics of Xi'an Jiaotong University, 2006.

(编辑 修荣荣)