

气液两相流体流量或质量 含气率的液体取样测量方法

梁法春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 动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘 要: 从被测气液两相流体中取样分流出一部分单相液体, 通过测量这部分单相液体的流量确定被测气液两相流体的流量或干度。通过将两相流体的测量转化为单相液体的测量, 避免了两相流体的波动对测量精度的影响。分析表明: 取样液相流量与主管路总流量的比值与主管质量含气率成线性关系。如果已知质量含气率或质量流量其中一个参数可以确定另一个参数。设计了液体取样装置, 在气液两相流实验环道上进行实验。结果表明: 本实验范围内, 流量和质量含气率测量最大误差小于 10%。

关 键 词: 两相流; 测量; 流量; 质量含气率

中图分类号: O359 文献标识码: A

引 言

气液两相流广泛存在于石油、化工、核能等许多工业领域, 在两相流系统中多相流体的流量测量是难以回避的, 也是至今未能很好解决一个难题。Falcone, Alvaro, Hewitt, 林宗虎等人对多相流量测量进展进行了回顾^[1~4]。与单相流相比, 两相流体的一个显著特征就是流动具有强烈的波动性, 气液两相在管道截面的分布形式即流型随着气液相流量的改变不断变化, 不同流型间的相态分布特征和流体动力学特性有很大差别, 导致工作在两相流体中的仪表输出信号受流型等参数的影响波动性大, 测量精度低。有些在线多相流量测量技术采用人工神经网络等非线性信号处理技术来预测多相流量^[5], 缺乏坚实的理论基础, 严重依赖训练样本的范围、数量及精度, 在使用过程中还需要进行频繁标定。另外, 基于射线吸收原理的多相计量方法还存在对环境和人员潜在的威胁^[6]。为了改善两相流量测量的可靠

性和精度, 王栋提出了利用 T 型三通的分相特性, 从被测气液两相流体中分流出一部分单相气体, 通过测量这部分单相气体的流量确定被测气液两相流体的流量或干度的计量方法^[7], 由于测量仪表工作在单相气体环境条件下, 测量稳定性有了很大提高。但由于气体的密度随温度压力变化, 容易造成取样气体质量流量的测量精度偏低。为此, 本文提出了基于液体取样的多相流量测量方法, 根据取样液体流量确定主管被测两相流体流量或质量含气率。

1 流量和质量含气率测量原理

上游来的气液两相流体经过特殊设计的液体取样器后, 被分成两部分, 一部分液相进入液体取样回路; 另一部分两相流体沿原来路线流入直通回路。在直通回路和分流回路上各设置一个阻力调节孔板, 用于调节两回路间的流量分配。如果确定了进入取样回路的液相质量流量与主管路质量流量或质量含气率的关系, 通过测量取样回路的液相质量流量就可以测量主管路的流量或干度大小。下面为具体推导过程。

进入取样回路的基本全为单相液体, 阻力主要集中在节流孔板上, 单相液体通过取样孔产生的压降 ΔP_3 为:

$$\Delta P_3 = \frac{M_3^2}{2\rho_L} \frac{1 - \beta_3^4}{(\Psi_3 C_3 A_3)^2} \quad (1)$$

对于直通回路, 阻力损失也主要集中于孔板上, 计算气液两相流通过直通回路产生的压降 ΔP_2 可以采用林宗虎孔板公式^[8]:

收稿日期: 2007-06-04; 修订日期: 2007-06-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50376051)

作者简介: 梁法春(1977-), 男, 河南信阳人, 中国石油大学讲师, 博士。

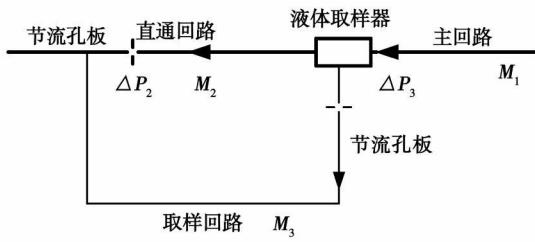


图 1 液体取样式多相流量测量原理

$$\Delta P_2 = \frac{M_2^2}{2\rho_L} \frac{1-\beta_2^4}{(\Psi_2 C_2 A_2)^2} \left[\theta + X_2 \left(\sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} - \theta \right) \right]^2 \quad (2)$$

以上两式中: ΔP_3 , ΔP_2 —取样回路和直通回路压力降, Pa; M_3 —取样流体质量流量, kg/s; M_2 —直通回路的气液两相质量流量, kg/s; ρ_L , ρ_G —液、气相密度, kg/m³; β —孔板直径与管径之比; Ψ —孔板热膨胀系数; C —孔板流出系数; A_2 , A_3 —取样回路和直通回路孔板的孔口截面积, m²; θ —校正系数, 与气液相密度比有关。下标 3 表示取样回路, 下标 2 表示直通回路。

由于取样回路与直通回路呈并联关系, 根据并联管路的特性得到:

$$\Delta P_2 = \Delta P_3 \quad (3)$$

即:

$$M_2 \sqrt{\frac{1-\beta_2^4}{1-\beta_3^4}} \frac{\Psi_3 C_3 A_3}{\Psi_2 C_2 A_2} \left[\theta + X_2 \left(\sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} - \theta \right) \right] = M_3 \quad (4)$$

式(4)可以写成:

$$M_2(a + bX_2) = M_3 \quad (5)$$

$$\text{式中: } a = \sqrt{\frac{1-\beta_2^4}{1-\beta_3^4}} \frac{\Psi_3 C_3 A_3}{\Psi_2 C_2 A_2} \theta, \quad b = \sqrt{\frac{1-\beta_2^4}{1-\beta_3^4}} \frac{\Psi_3 C_3 A_3}{\Psi_2 C_2 A_2}$$

$$\left(\sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} - \theta \right)$$

由于气体不进入底部小孔, 根据气相质量守恒得到:

$$M_1 X_1 = M_2 X_2 \quad (6)$$

则:

$$X_2 = \frac{M_1 X_1}{M_2} = \frac{M_1 X_1}{M_1 - M_3} \quad (7)$$

根据总质量守恒:

$$M_1 = M_2 + M_3 \quad (8)$$

联合式(5)、式(7)和式(8)得到:

$$\frac{M_3}{M_1} = \frac{a}{1+a} + \frac{b}{1+a} X_1 \quad (9)$$

由于 a , b 为常数, 从式(9)可以看出进入取样回路的液相质量流量与主管气液两相总流量的比值

跟主管质量含气率成线性关系。取样液相质量流量 M_3 可以用单相液体流量计测量, 如果知道主管路质量含气率 X_1 值就可以根据上式计算出主管内总质量流量 M_1 。相反, 如果已知主管液相质量流量 M_1 , 也可以根据此式确定出质量含气率 X_1 。

2 实验装置和系统

实验介质为空气水, 实验管径为 40 mm。从压缩机来的气相流量 (M_{IG}) 及水泵来的液相流量 (M_{IL}) 经计量后在混合器中混合, 经由发展段进入测试段。液体取样器安装在测试段, 在此一小部分液体被分流进入液体取样回路, 由一小型液体质量流量计测量取样液体的质量流量。

为了增强取样效果, 保证进入取样回路的流体中不含气体, 采用了如图 2 所示的特殊的结构设计。对于水平管气液两相流动, 在重力作用下, 气液会产生自然分离, 液相主要在管底部流动。在管壁底部安装液体收集腔, 此处随着流通面积的突然扩大, 气液相流速降低, 大大增强了气液分离效果, 从而保证了进入取样回路基本全是液相。

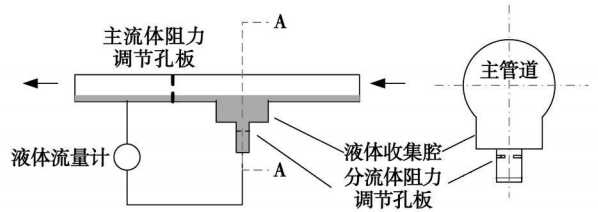


图 2 液体取样器结构图

在取样管路上和主管路上各布置有一个节流孔板, 其作用是调节取样流体与主流体间的阻力匹配, 保证式(9)的成立。

3 实验结果

值得注意的是, 由于进入取样回路基本全是液体, 与文献[7]中的 T 型三通管一样, 该液相取样器用于两相流量测量上也是一种单参数流量计, 需要知道主管流量或含气率其中一个参数才能测量出另一个参数。

图 3、图 4 分别为主管流量和质量含气率真实值与测量值对比。横坐标为真实值, 对应的纵坐标表示的是测量值, 如果二者相等, 实验点就落在图中斜线上。

图 3 为已知主管质量含气率通过该液体取样装

置测量得到的主管流量, 最大测量误差为 9.4%。
图 4 为已知主管流量测量得到的主管质量含气率, 最大误差为 9.95%。

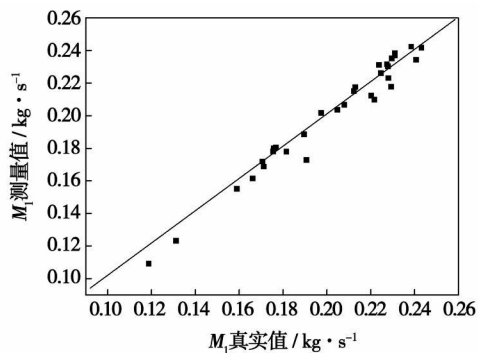


图 3 主管流量测量值与真实值比较(质量含气率已知)

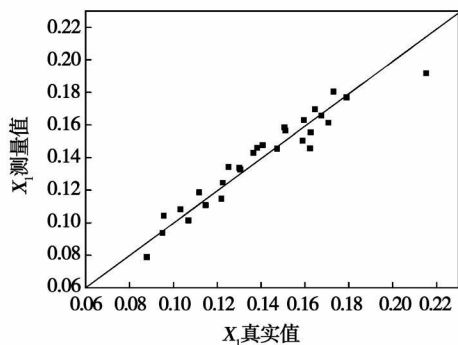


图 4 主管质量含气率测量值与真实值比较(主管流量已知)

4 结 论

(1) 提出了基于液体取样测量气液两相流流量

或干度的方法, 克服了传统多相流量测量仪表工作在两相流量环境中, 测量精度易受流动波动的影响的缺点, 同时也避免了单相气体取样方法中气体密度易受压力变化导致气相质量流量不易确定问题, 测量精度和稳定性都得到显著改善;

(2) 设计了特殊的液相取样器, 保证了进入取样回路中为单相液体, 分流取样回路和主流回路阻力分别集中于调节孔板上, 根据阻力平衡分析发现取样流体与主管被测流体总流量的比值与质量含气率成线性关系;

(3) 此流量测量方法为单参数多相流测量方法, 知道质量含气率或质量流量其中一个参数可由式(9)确定另一个参数。

参考文献:

- [1] FALCONE G, HEWITT G F, ALIMONTI C, et al. Multiphase flow metering: Current trends and future developments[J]. Journal of Petroleum Technology, 2002 54(4): 77- 84.
- [2] ALVARO R. Developments in multiphase metering[R]. SPE 36197, Abu Dhabi: Society of Petroleum Engineers Inc. 1996.
- [3] HEWITT G F. Multiphase flow metering, in multiphase flow and heat transfer[M]. New York: Edited by Hemisphere Publishing Co, 1991.
- [4] 林宗虎. 气液固多相流测量[M]. 北京: 中国计量出版社, 1988.
- [5] SHEPPARD C P, RUSSELL D. Application of artificial neural networks to non-intrusive multi-phase metering[J]. Control Engineering Practice, 1993, 1(2): 299- 304.
- [6] HARTLEY P E, ROACH G J, STEWART D, et al. Trial of a gamma-ray multiphase flow meter on the West Kingfish oil platform[J]. Nuclear Geophysics, 1995 9 (6): 533- 552.
- [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干度[J]. 热能动力工程, 2002(4): 336- 338, 348.
- [8] 林宗虎. 气液两相流与沸腾传热[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2003.

(编辑 韩 锋)

能源利用

武汉钢铁厂建造烧高炉煤气的联合循环装置

据《Gas Turbine World》2007 年 9~10 月号报道, 武汉钢铁公司已与 GE Energy 订立合同, 后者向武汉钢铁公司供应一套烧高炉煤气(BFG)的联合循环动力装置, 用于该公司在武汉秦尚(音译)区的冶炼和平板/轧钢联合工厂。

GE 将供应两套 160 MW 烧高炉煤气的联合循环发电设备, 每套设备包括 1 台 Frame 9E 燃气轮机、一台发电机和一台燃料气体压缩机。

Frame 9E 的特点是灵活的燃料处理技术, 它可以容易地适用于烧高炉煤气的应用。

该装置将有能力每年生产 24 亿 kWh 电力和 160 t/h 过程蒸汽, 有效地捕获并燃烧高炉煤气将使武汉钢铁公司该工厂排放的 CO₂ 每年减少 200 万 t。

2 台燃气轮机计划于 2008 年下半年交付, 预期该装置将于 2009 年下半年投入运行。

(吉桂明 供稿)

奇异值分解在气液两相流流型识别中的应用 = **Application of Singular Value Decomposition for the Identification of Gas-liquid Two-phase Flow Patterns**[刊, 汉]/SUN Bin, ZHONG Jin-shan, CHEN Fei, ZHOU Yun-long (College of Energy Source and Mechanical Engineering, Northeast Dianli University, Jilin, China, Post Code: 132012)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 252 ~ 255

Presented was a method for the identification of gas-liquid two-phase flow patterns by combining phase-space restructure with singular value decomposition. First, the authors have created an attractor trajectory matrix of pressure-difference fluctuation signals by adopting the phase space restructure method. Then, the matrix is decomposed to obtain its singular values to serve as an eigenvector of the flow pattern. In the light of such problems as both a low convergence speed and an easy fall into partial limit values, to which BP (back propagation) neural network is susceptible, the L-M optimization algorithm was used to design a BP network model for identifying the flow patterns. The research results show that the method in question can effectively identify 4 typical flow patterns of air-water two-phase flow in horizontal tubes. Compared with other improved algorithms, the L-M optimization algorithm has the highest identification rate of 95%, thus providing a new effective approach for the identification of flow patterns. **Key words:** flow pattern identification, phase space restructure, singular value decomposition, L-M optimization algorithm, BP neural network

气液两相流体流量或质量含气率的液体取样测量方法 = **A Method for Liquid Sampling and Measurement of Gas-liquid Two-phase Fluid Flow Rate or Mass Quality**[刊, 汉]/LIANG Fa-chun (College of Transport & Storage and Building Engineering, China University of Petroleum, Dongying, China, Post Code: 257061), WANG Dong, LIN Zong-hu (National Key Laboratory of Multi-phase Flows in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 256 ~ 258

A portion of single-phase liquid is sampled and separated out from the gas-liquid two-phase fluid under measurement. Through the flow rate measurement of this portion of the single-phase liquid, the flow rate or dryness fraction of the two-phase fluid can be determined. Through a conversion from the measurement of a two-phase fluid to that of a single-phase liquid, the effect of two-phase fluid fluctuation on measurement accuracy can be avoided. The analytic results show that the ratio of the sampled liquid phase flow rate and the total flow rate in the main pipeline assumes a linear relationship with the mass quality of the main pipeline. If either one parameter of the mass quality or mass flow rate is known, the other parameter can be determined. A liquid sampling device has been designed and tested on a gas-liquid two-phase flow test loop. The test results show that within the range of the present test, the maximum measurement error of a flow rate and mass quality is less than 10%. **Key words:** two-phase flow, sampling, flow rate, mass quality, measurement

300 MW 燃煤锅炉静电除尘器的现场实验和数值模拟 = **On-site Experiments and Numerical Simulation of an Electrostatic Precipitator for a 300 MW Coal-fired Boiler**[刊, 汉]/ZHAO Hai-bo, GUO Xin, ZHENG Chu-guang (National Key Laboratory on Coal Combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 259 ~ 264

The use of an experimental study and a numerical simulation to quantitatively describe the smoke particle collection process in a dust removal device provides a theoretical basis for developing an effective PM (particulate matter) dust removal scheme. The fly ash particles before and after an electrostatic precipitator (ESP) of a 300 MW coal-fired boiler were sampled on-line to investigate their size distribution law and emission characteristics. The sampling system was composed of a high-temperature water-cooled sampling tube, cyclone separator and low-pressure impactor. The test results show that the fly ash particles before and after the ESP assume a typical dual-peak distribution with the peak values emerging at around 0.08 μm and 2 ~ 5 μm . Thereafter, with the test results at the inlet of the ESP serving as initial conditions, an event-driven constant volume method was used to carry out a particle cluster equilibrium simulation of the dust removal process in the ESP. The detailed information about the evolution process of the smoke particle size spectrum along the longitudinal length of the ESP can thus be obtained. The simulation results of the particle size distribution at the ESP outlet were in relatively good agreement with the test results. **Key words:** coal-fired power plant, electrostatic precipitator, in-