

采用射线法对垂直上升管环状流的研究

胡日查, 毕勤成, 赵 于, 吕海财

(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: 讨论了单束伽马射线测量垂直上升管环状流截面含气率及流型演变。快关阀门法用于标定平均截面含气率, 并与射线法两种计算公式进行了比较, 线性公式和对数公式误差分别在±6.2%及±7.1%以内。根据截面含气率及液相的分布确定垂直上升管环状流演变共经过不均匀分布区、相对稳定区和断层区3个区域, 而射线法截面含气率分布图和两种公式的相对误差大小可以反映环状流的演变过程。实时拍摄图片证明了射线法探测结果的准确性。

关键词: 伽马射线密度计; 气液两相流; 截面含气率; 环状流

中图分类号: O359 文献标识码: A

引 言

截面含气率是气液两相流中最重要的参数之一, 在研究流道内流体压力降及传热时是一个不可或缺的参数, 尤其在核工业、化工、航空航天和热能动力等领域需要准确的截面含气率测量值。目前, 国内外对气液两相流截面含气率的主要测量方法有电学法、超声法、光学法及射线法等^[1]。

上述方法存在测量信号滞后、对流场扰动大、结构复杂、测量值不稳定和无法测量恶劣情况下的截面含气率等问题。本研究使用了射线源、准直器、探测器及采集设备组成了整套实验装置, 并考虑到了射线源探测器距离、工质温度及质量流速对于测量的影响, 最终确定了实验方案。通过对有机玻璃实验管段中平均截面含气率的测量得到了环状流型演变过程的截面含气率数值, 讨论了流型与截面含气率之间的关系。采用快关阀门法与射线法进行对比, 并采用实时拍摄来追踪流型的演变过程。

1 实验原理

伽马射线在物质中的衰减规律可表示为指数

形式:

$$I = I_0 \exp\left(\int -\mu(r) dr\right) \quad (1)$$

式中: I —经过衰减后的射线强度, Bq; I_0 —射线初始强度, Bq; μ —衰减常数, 与射线能量及吸收射线的物质密度有关。

根据测量管段中气液相的分布可以计算得到两种极端分布情况下的截面含气率近似表达式^[2], 如图1所示。

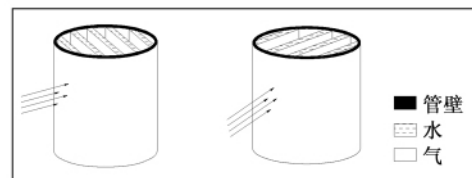


图1 射线垂直于流体截面和平行于流体截面两种极端情况

Fig. 1 Two extreme cases i. e. the radiative ray is perpendicular and parallel to the cross section of the fluid

当射线入射方向与流体流动截面相互垂直时, 截面含气率可用对数式近似表示:

$$\alpha = \frac{\ln(I/I_L)}{\ln(I_C/I_L)} \quad (2)$$

当射线入射方向与流体流动截面相互平行时, 截面含气率可用线性式表示:

$$\alpha = \frac{I - I_L}{I_C - I_L} \quad (3)$$

式中: α —截面含气率; I_L —射线经过全部为液体的实验管段后的强度, Bq; I_C —射线经过全部为气体的实验管段后的强度, Bq。

在真实的流动当中, 除了上述两种极端的流动

收稿日期: 2012-07-26; 修订日期: 2012-08-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)基金资助项目(2009CB219805)

作者简介: 胡日查(1986-), 男, 蒙古族, 内蒙古通辽人, 西安交通大学硕士研究生。

情况外还存在各种各样的气液分布的情况。对于气液随机分布的情况可用上述两种极端情况下计算公式中的一种近似计算,但计算误差有所不同。目前,采用计数模式计算截面含气率数值较为普遍。在计数模式下射线在不同情况下的强度可用相应的计数率代替,即 R 、 R_C 和 R_L 可代替 I 、 I_C 和 I_L [3]。

2 实验系统

2.1 气-水两相流混合系统

整个实验系统由气液两相流混合系统和伽马射线测量系统组成,如图 2 所示。

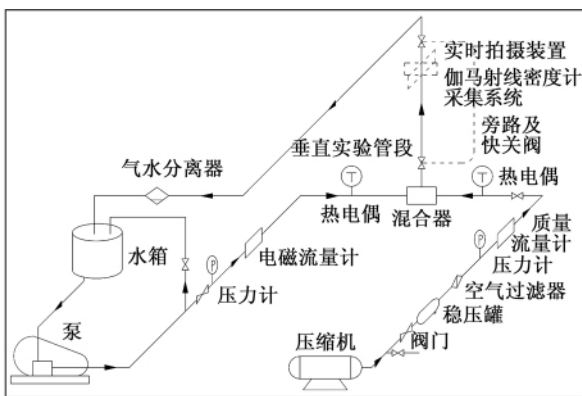


图 2 实验系统图

Fig. 2 Diagram of the test system

气-水混合系统由气路、水路及气水混合后的实验段组成。水路由主路和调节旁路组成,主路流量由电磁流量计测量。气路中空气分别通过稳压罐、过滤器及质量流量计后在混合器中与水进行混合。

垂直上升实验管段由有机玻璃制成,高 2 570 mm,内径为 15 mm。实验段中并联了快关阀旁路。为使伽马射线密度计测量系统测量稳定的两相流,伽马射线密度计测量系统和实时拍摄仪器布置在实验段上部两相流动稳定段。

2.2 伽马射线密度计测量系统

伽马射线密度测量系统由放射源、准直器、实验管段、探测器及电脑采集设备组成。探测器又由闪烁晶体、光电倍增管及信号放大器组成。

根据放射源选择原理,在综合考虑射线粒子能量、辐射比和半衰期后最终选定 Cs-137 为射线源。根据文献 [4],放射源活度最终确定为 1.11×10^8 Bq,此时分辨气-水混合物的灵敏度为 0.054。以内径为 15 mm 管作为实验段,最终设定准直器直径

为 5 mm、厚为 10 mm。闪烁晶体的选择上根据转换效率和衰减常数两个重要参数最终确定目前使用比较广泛的 NaI 作为闪烁体。环境温度对闪烁体有影响 [2,5] 在实验过程中需要保持恒定温度。实验在室温下进行,所以温度幅度不大,满足闪烁体测量要求。闪烁体、光电倍增管和放大器同时嵌入薄壁钢管组成了探测器主体,这样可以避免电磁波干扰使得测量稳定。整个伽马射线测量系统如图 3 所示。

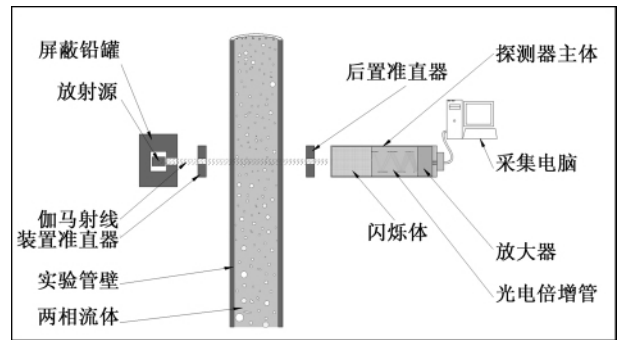


图 3 伽马射线密度计测量系统

Fig. 3 Gamma-ray densitometer measurement system

3 实验结果及讨论

3.1 流体温度及质量流速对于测量的影响

实验过程中,依据预设工况要求实验管段内流体流量会改变,同时因为水泵的散热作用流体温度也会产生微小变化。若要确定实验是否可以对截面含气率进行有效地测量,需要对这两个变化量进行研究。图 4 ~ 图 5 表示了当其它条件不变时,水的温度和质量流速对于计数率的影响。

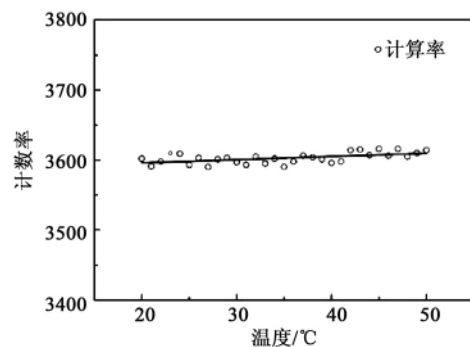


图 4 计数率随流体温度的变化

Fig. 4 Change of the count rate with the temperature of the fluid

图 4 说明了计数率随常压下水的温度增加的变

化趋势。实验中流体温度在 25 ~ 28℃ 范围内变化, 所以可以忽略流体温度对计数率的影响。水的质量流速增加时, 计数率数值几乎没有变化, 如图 5 所示, 说明水的质量流速对于伽马射线的衰减几乎没有影响。

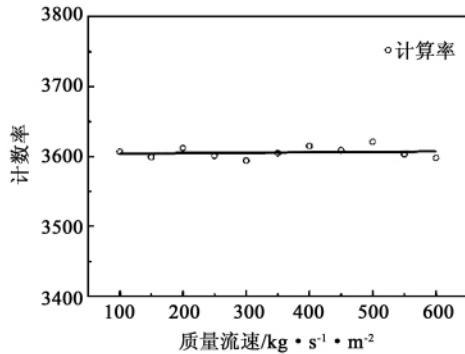


图 5 计数率随流体质量流速的变化
Fig. 5 Change of the count rate with the mass flow speed of the fluid

3.2 截面含气率的测量

快关阀门法是实验室测量气液两相流平均截面含气率较为准确简单的方法, 也是标定其它测量法的主要方法。图 6 和图 7 对比了射线法线性公式和对数公式计算得到的截面含气率数值与快关阀门法测量得到截面含气率数值。线性公式相对误差在 ±6.2% 内, 而对数公式相对误差在 ±7.1% 内。

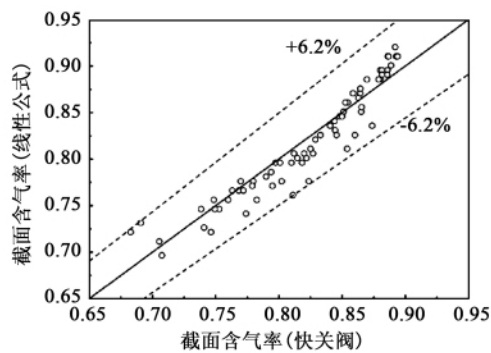


图 6 快关阀法与射线法线性公式计算值比较
Fig. 6 Comparison of the values calculated by using the linear formula of the quickly closed valve method and the radiative ray method

3.3 误差分析判断环状流的演变过程

在环状流中液相主要覆盖在管壁上流动, 而气相却在管中心气核中传播。流动过程中液相会在扰动的作用下夹杂到中心气核中, 又在气相的推力下

重新附着到液膜上。在整个环状流的演变过程中影响液相和气相的扰动可分为扰动波和皱波^[6], 皱波相对于扰动波和气相流速以较小振幅和波长缓慢地在液膜和扰动波上传播而且存在的时间也不长。扰动波则是主要影响环状流质量、动量和能量传播的重要因素, 它以大振幅快速度传播。

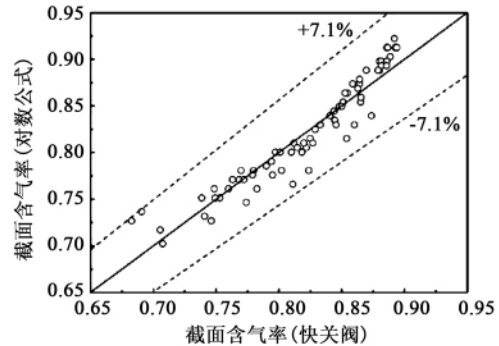


图 7 快关阀法与射线法对数公式计算值比较
Fig. 7 Comparison of the values calculated by using the logarithmic formula of the quickly closed valve method and the radiative ray method

图 8 为液相质量流速为 300 kg/(s · m²) 的垂直上升管环状流在气相质量流速为 6 ~ 17 kg/(s · m²) 内的演变过程。演变过程中扰动波逐渐发生变化。随着气相质量流速的增加, 扰动波传播速度和频率逐渐增大, 而振幅和波长却逐渐减小^[7]。图 8 (a) 中因为扰动波和气相作用下液膜中的液体大量被夹杂到气核中, 此时, 气核中气液分布为图 1 所示两种情况的叠加。图 8 (b) 和图 8 (c) 中, 虽然扰动波频率增加, 振幅却减小, 在气相作用下波峰部分被削去以液滴的形式夹杂到气核中。此时流型已经非常接近图 1 所示射线垂直入射情况。图 8 (d) 和图 8 (e) 中, 扰动波频率仍继续增加, 而振幅继续减小。此时, 扰动波和皱波已经没有太大的差别, 都以水纹状传播。图 8 (d) 中连续的液膜开始出现断层的现象, 从而导致气水分布逐渐向图 1 中所示射线平行入射转化。

图 9 和图 10 展示了垂直上升管中随气相质量流速增加不同液相质量流速工况的截面含气率数值变化情况。采用射线法两种公式计算得到截面含气率分布中, 当截面含气率在 0.70 ~ 0.80 的范围内不同液相质量流量工况曲线出现多次交叉现象。在此区间气液两相分布极其不稳定, 有较强的随机性和扰动现象, 射线对于随机分布的气液相流动无法产生稳定的衰减, 导致测量曲线出现交叉现象。截面

含气率在 0.80 ~ 0.85 区间,交叉曲线逐渐开始分散,流动逐渐趋于稳定的环状流动。当液相的质量流速增加时环状流液膜厚度增大,对射线的衰减也相应地增大。加之流动相对稳定,射线产生规律性指数衰减,曲线簇出现分散现象。截面含气率在 0.85 以后,曲线分散更为明显,环形流动的稳定性进一步增强。

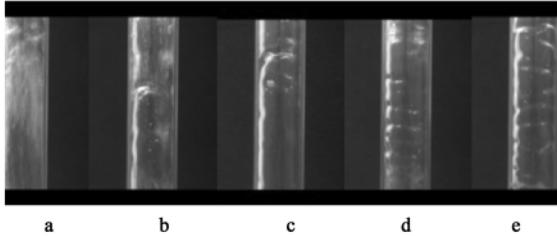


图 8 环状流演变过程
Fig. 8 Evolution process of the annular flow

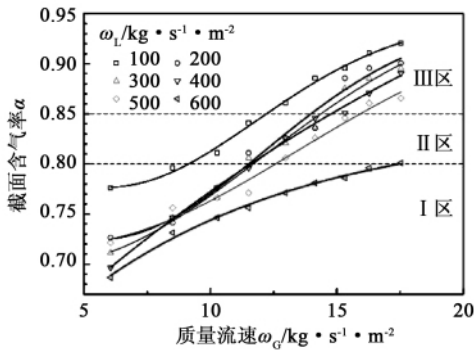


图 9 线性公式计算所得截面含气率与流动分布
Fig. 9 Gas content in a section obtained through a calculation by using a linear formula and its flow distribution

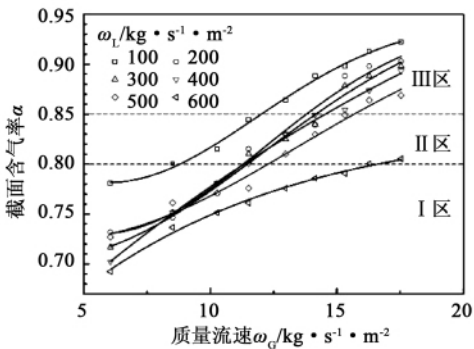


图 10 对数公式计算所得截面含气率与流动分布
Fig. 10 Gas content in a section obtained through a calculation by using a logarithmic formula and its flow distribution

根据气液两相流截面含气率及液相分布,可将环状流动演变过程分为 3 个区域。第一区为气核中气液两相不均匀分布区,此时气液分布是图 1 中两种入射分布的叠加情况,如实图 8(a)。第二区指出现明显的环状流动,但液膜没有出现断层,扰动波频率继续增加振幅继续减小的区域,如实图 8(b)和图 8(c)所示。第三区域包括环状液膜出现断层,扰动波和皱波已经无明显差别的区域,如实图 8(d)和图 8(e)。

第三区域中曲线分散明显,但无法说明流动的变化情况。伽马射线密度计测量截面含气率有两种近似计算方法,这两种计算方法产生的误差依流型中气液相分布不同而不同。一般情况下,射线平行于气液两相截面线性公式较为准确,射线垂直于气液两相截面对数公式较为准确。射线法相对误差的分析,可以反映流型的进一步微小的变化,如图 11 所示。当截面含气率在 0.85 ~ 0.87 范围内,环状流动液膜出现随机断层现象,此时两种公式误差出现不规则分布。当截面含气率大于 0.87,环状流动完全处于断层流动状态,此时线性公式误差小于指数公式误差。

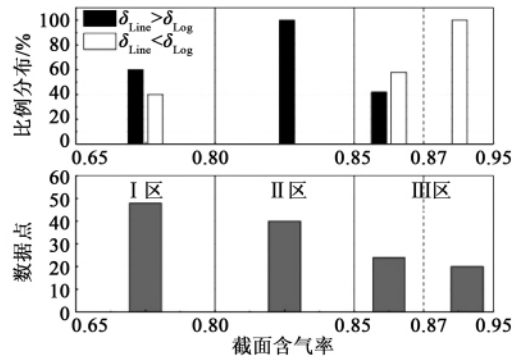


图 11 线性公式与对数公式相对误差比较
Fig. 11 Comparison of the relative error between the values calculated by using the linear formula and logarithmic one

4 结 论

介绍了一整套伽马射线密度计测量截面含气率实验系统的简单的设计流程,并用此系统测量了垂直上升管中气-水两相流环状流的截面含气率,得到结论:

(1) 伽马射线密度计测量截面含气率的实验系统稳定可靠。再与快关阀门法对比后发现,伽马射

线法线性公式相对误差在 $\pm 6.2\%$ 内,对数公式相对误差在 $\pm 7.1\%$ 内。

(2) 垂直上升管气-液两相测量过程中伽马射线密度计测得截面含气率曲线可以反应流型变化趋势。伽马射线密度计不但可以较精确地测量截面含气率数值,同时对于流型的变化也有一定的分析能力。

(3) 射线法判断垂直上升管环状流演变过程可分为 3 个区域。第一区域,截面含气率数值 0.70 ~ 0.80 之间。此区域内流动不稳定,虽然扰动波频率小但幅值大,随着截面含气率数值的上升逐渐趋于稳定的环状流。第二区域,截面含气率数值 0.80 ~ 0.85。此区域是相对稳定的环状流区域,扰动波频率增大但振幅减小。第三区域,截面含气率数值大于 0.85。此区域内连续的环状流动出现断层现象,出现上薄下厚的片状液膜。

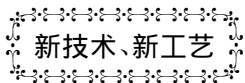
参考文献:

[1] 林宗虎,王树众,王 栋. 气液两相流和沸腾传热[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2003.
LIN Zong-hu, WANG Shu-zhong, WANG Dong. Gas-liquid two-

phase flow and boiling heat transfer[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2003.

- [2] Michael Petrick, Bernet S, Swanson. Radiation attenuation method of measuring density of a two-phase fluid[J]. The Review of Scientific Instruments, 1958, 29(12): 1079 - 1085.
- [3] Gardner R P, Ely R L J. Radioisotope measurement applications in engineering[M]. New York: Reinhold Press, 1967.
- [4] Chan A M C, Banerjee S. Design aspects of gamma densitometers for void fraction measurements in small scale two-phase flows[J]. Nuclear Instruments and Method, 1981, 190(1): 135 - 148.
- [5] 北京核仪器厂温度效应测量组. 闪烁体的温度效应[J]. 核电子学与探测技术, 1984, 4(3): 143 - 147.
Beijing Nuclear Instrument Factory temperature effect measurement group. Temperature effects of a scintillator[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1984, 4(3): 143 - 147.
- [6] Hewitt G F, Hall-Taylor N S. Annular two-phase flow[M]. Oxford: Pergamon Press, 1970.
- [7] Pravin Sawant, Mamoru Ishii, Tatsuya Hazuku, et al. Properties of disturbance waves in vertical annular two-phase flow[J]. Nuclear Engineering and Design, 2008, 238(12): 3528 - 3541.

(丛 敏 编辑)



Siemens 生产的 37 MW SGT-750 型燃气轮机

据《Gas Turbine World》2012 年度手册报道, Siemens 公司的新的用于机械驱动的 SGT-750 双轴燃气轮机的额定输出功率为 37.11 MW, 效率为 40%。

SGT-750 型燃气轮机通过减速齿轮箱用于 50 或 60 Hz 发电, 天然气作为燃料, 其额定功率可达 35.93 MW, 电效率为 38.7%。

该型燃机正作为在运行方式、燃料能力和易于维护等方面优点而推广使用。

13 级轴流压气机具有由电子束焊接的轮盘组成的单一刚性转子, 压比为 23.8:1。

前二级装有可变几何导叶, 以便改进部分负荷性能。

燃烧系统由具有对流空气冷却的 8 个管-环式燃烧室组成, 所有的冷却空气都被用作为燃烧空气, 以减少损失。

涡轮部分的特征是轴流式二级空气冷却的压气机涡轮(高压、涡轮), 其排气进入反方向旋转的二级不冷却的动力涡轮, 在基本负荷下动力涡轮的额定转速为 6 100 r/min。

高压涡轮的静叶和动叶是利用内部对流冷却与气膜冷却联合被冷却的。

两台样机于 2011 年底开始工厂试验, 计划于 2013 年投入运行生产电力。

(吉桂明 摘译)

tem when R236fa ,R600 and R114 are used ,a relatively big net power output can be produced with a relatively high thermal efficiency. The variation law of the exergy efficiency of the system with the evaporation pressure is similar to that of the thermal efficiency. The exergy efficiency of the system when R600 is used can hit the highest of 45.98% . To raise the evaporation pressure can effectively enhance the exergy efficiency of the system and decrease the exergy loss of the system. From the viewpoint of the difficulty of the exhaust steam to be condensed ,the authors believe that R245fa and R123 should be the working media applicable for organic Rankine cycle systems. **Key words:** organic working medium ,low temperature waste heat-produced steam ,organic Rankine cycle ,thermodynamic performance

采用射线法对垂直上升管环状流的研究 = **Study of the Annular Flow in Vertical Risers by Using Ray Methods** [刊 ,汉]HU Ri-cha ,BI Qin-cheng ,ZHAO Yu ,et al(National Key Laboratory on Multiphase Flow in Power Engineering ,Xi'an Jiaotong University ,Xi'an ,China ,Post Code: 710049) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 ,28(2) . - 145 ~ 149

Discussed were the void fraction in a section of a vertical riser in annular flow measured by a single beam of γ -ray and the evolution of the flow pattern. The quick closing valve method was used to calibrate an average void fraction in a section and compared with two calculation formulae of the ray method. The errors as calculated by using the linear and logarithm formula were within a range of $\pm 6.2\%$ and $\pm 7.1\%$ respectively. Based on the void fractions in the section and the distribution of the liquid phase ,the evolution of the annular flow in the vertical riser was determined to pass through the following three zones ,namely ,non-uniform distribution zone ,relatively stable zone and fault zone. The chart showing the distribution of void fraction in the section by using the ray method and the magnitude of the relative error as calculated between the two formulae can reflect the evolution of the annular flow. The real-time photos verified the accuracy of the results detected by using the ray method. **Key words:** γ -ray densiometer ,void fraction in a section ,annular flow

气泡雾化下游场液滴速度的预测模型研究 = **Study of a Model for Predicting the Liquid Drop Velocity in the Lower Reaches of a Flow Field Under the Effervescent Atomization** [刊 ,汉]FANG Heng-he ,XIE Jing (College of Food Science ,Shanghai Oceanology University ,Shanghai ,China ,Post Code: 201306) ,LIU Meng (College of Energy Source and Environment ,Southeast University ,Nanjing ,China ,Post Code: 210096) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 ,28(2) . - 150 ~ 153

To predict the liquid drop velocity in the lower reaches of a flow field under the effervescent atomization ,established was a model for predicting the above-mentioned liquid drop velocity under the gas-liquid two-phase flow atomization with the help of a corrected local homogenous flow (HLF) model and compared was the velocity such obtained with