

文章编号: 1006-4729(2001)03-0051-05

一种测量气液两相旋涡结构的装置

李永光¹, 马昕霞², 王松龄², 林宗虎³

(1. 上海电力学院, 上海 200090; 2. 华北电力大学, 保定 071003; 3. 西安交通大学, 西安 710049)

摘要: 首次提出采用9针梳状电阻探针测量气液两相旋涡的结构, 利用它配合计算机采集系统测得旋涡中的含气率分布, 从而得到尾流中含气率的分布。

关键词: 探针; 气体-液体混合物; 旋涡

中图分类号: TH814 **文献标识码:** A

引言

当流体流过非流线型物体时, 在该物体后部的尾流中会有旋涡产生, 这种旋涡是由该物体表面脱落下来的。在一定条件下, 会发生涡列或称卡门涡街, 这种从物体表面脱落的旋涡将影响物体表面的导热特性以及在该物体尾流中其他物体的力学和换热特性。有时还会导致换热工况恶化而发生事故。气液两相绕流工况在工业设备中常可遇到。例如: 在电厂凝汽器和核电站轻水反应堆中燃料棒子通道间的流动, 就是气液两相绕流流动。因此, 深入了解旋涡的结构是非常重要的。

气液两相流动非常复杂, 因此, 研究的难度也较大。存在于气液两相旋涡中的细小气泡及其参数对气液两相流的传热、传质及阻力特性有很大影响。如何实现旋涡中含气率的测量是两相流研究的重大课题。由于气液两相流具有可变的边界及影响因素多等特点, 这就要求测量局部参数的探针具有分辨率高、响应快等特点。到目前为止, 主要有以下3种测量方法: 电阻法、光学法和摄影法。光学法和摄影法可以得到瞬时管内流动工况, 但是它把沿管径方向所有旋涡的工况同时显示在一张图片上, 给层析带来困难, 也就是说, 它不能对两相旋涡内部结构进行研究。同时, 对管子的光学特性有较高的要求。为了直观地研究旋涡的内部结构, 本文首创了9针梳状电阻探针, 利用它并

配合计算机采集系统测得旋涡中的含气率分布, 从而得到旋涡发生体尾流中含气率的分布。

本文测量了气液两相旋涡的结构, 并应用计算机进行了数据采集和分析。试验工质为水-空气混合物。试验的范围为截面含气率 0.02 ~ 0.30, 水流速度 1.98 ~ 3.65 m/s, 温度为室温, 绝对压强 0.1 ~ 0.25 MPa, 试验段管子内径为 50 mm。空气流量利用转子流量计测量, 水流量利用笛形管测量。

1 试验装置和测量

1.1 试验装置

试验装置如图1所示。本文试验中采用的两相涡街发生体为一准等腰三角形物体, 置于

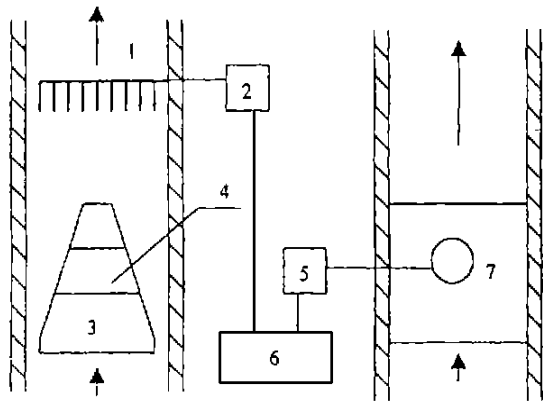


图1 实验段

收稿日期: 2001-05-29

特约作者简介: 李永光(1957-), 男, 教授, 从事多相流测试技术和节能技术等方面的研究工作。

基金项目: 上海市自然科学基金(No. 98ZF14002); 上海市教育发展基金会曙光计划(98DG35); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999022308)

内径为 50mm 的管中,底面对着来流方向.根据对单相流体的研究,这种涡街发生体能够产生强烈而稳定的旋涡.在图 1 所示的实验段中编号:1 为 9 针梳状电阻探针;2 为多路探针信号处理器;3 为两相涡街发生体;4 为热敏元件安装位置;5 为旋涡检测信号处理器;6 为计算机;7 为导流孔.图中的探针就是所创的 9 针梳状电阻探针,该探针在涡街发生体下游 70mm 处,将探针检测到的信号通过信号处理器后,再送入计算机采集器采集,进行分析.

1.2 电阻探针的原理及旋涡结构的测量

气液两相旋涡与单相流体旋涡不同,由于液相流体中含有气泡,而旋涡中心压力相对较低,在压差的作用下,质量较轻的气泡将会被吸入旋涡中.因此,在气液两相旋涡中的含气量比旋涡外要高,而且越靠近旋涡中心,含气量越高,许多研究者已经证实了这一现象.根据这一物理现象,我们设计了 9 针梳状电阻探针,该探针是由 9 根独立的电阻探针排列而成.电阻探针是根据水和空气的电阻值有明显差别的原理而设计,其结构见图 2,图中 1 为多通道信号处理电路;2 为计算机;3 为不锈钢杆. T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 为探针从左到右的编号.

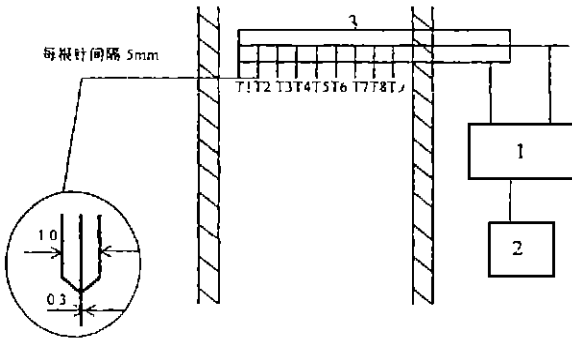


图 2 梳状电阻探针

每一通道的电路如图 3 所示,图中 1 为针尖;2 为针杆;3 为 7.5V 电池;4 为可调电阻.针尖由一根直径为 0.3mm 的细绝缘金属丝制成,在此金属丝上只有端部是导电的,其余部分均绝缘.针尖是电路的一个极,另一个极为针杆,在此两极间加

上 7.5V 的直流电压.由于气体的电阻比液体大得多,当管道内全部是水时,输出电压为最大,当管道内全部是空气时,输出电压为最小.

当两相流中的气泡和液体交替流过电阻探针时,两电极间的电压就发生相应的变化,通过计算机采集的两极间电压变化的波形如图 4 所示.

设气泡流过探针的时间为 t_G , 气液两相流过探针的总时间为 t_r , 根据文献[8], 测点的平均含气率 $\bar{\alpha}_t$ 可按下式计算

$$\bar{\alpha}_t = \frac{t_G}{t_r}$$

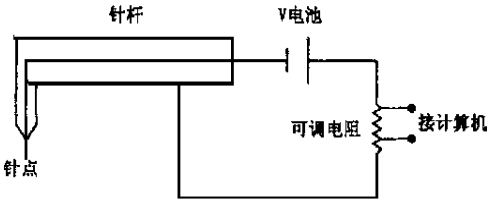


图 3 单根探针的信号处理电路

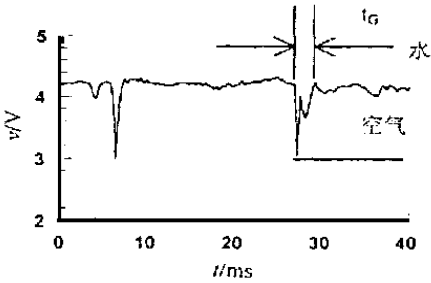


图 4 电阻探针测得的信号

将探针沿管径方向横向移动,可以测出当地的平均含气率沿管径方向的分布.探针可以从管子上取下,以便清理针尖,以保持良好的导电性.

本文使用的 9 针梳状电阻探针能较直观的反映物体尾流旋涡中含气率的分布.利用它配合计算机采集系统可以同时采集 9 路探针信号.而 Hulin 等^[3], Inoue 等^[4] 所用的测量方法均为在某一点测量多次然后取平均值,不能同时测出截面上各点的含气率分布,图 5 为 9 根探针测得的信号,图中(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i) 分别对应 T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 探针测得的信号.

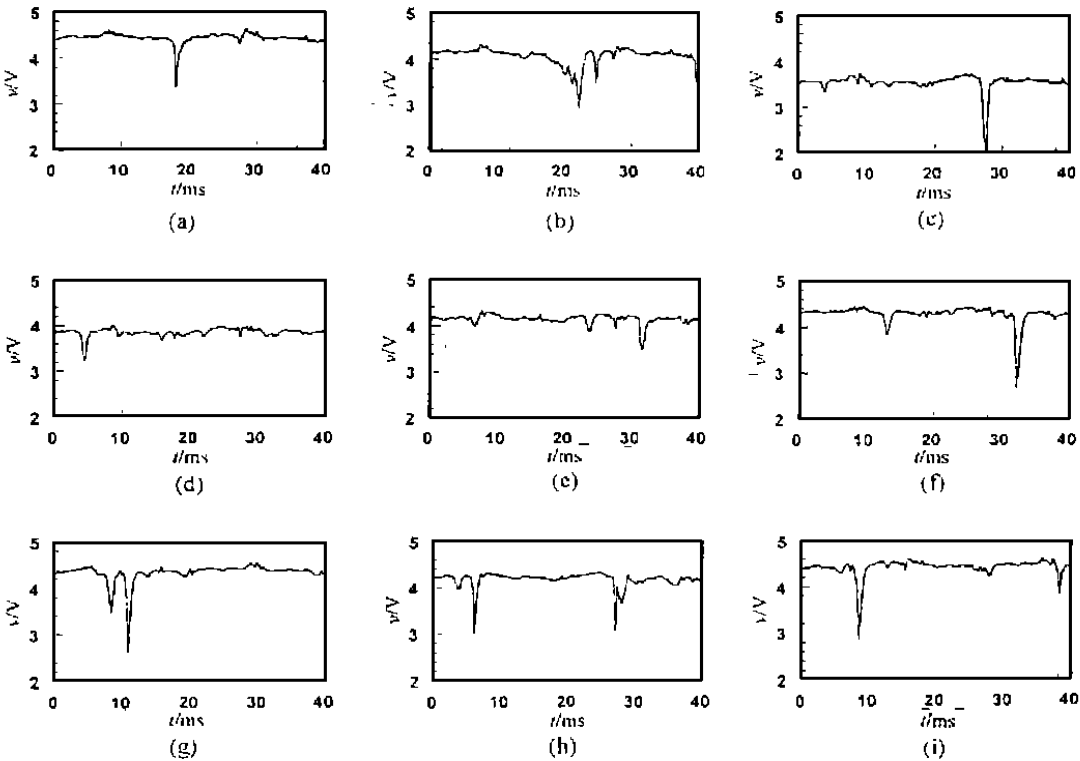


图5 梳状电阻探针测得的信号

2 试验结果及分析

本试验采用的两相涡街发生体如图 6 所示, A1 型物体和 B1 型物体在两相流中均有稳定旋涡发生. 移动探针可以得到截面含气率在涡街中的分布曲线. 图 7 和图 8 分别是用 9 针梳状电阻探针测量气液两相垂直上升绕流 A1 型物体和 B1 型物体时尾流中含气率的分布, 从图 7、图 8 可以看出, 气液两相旋涡中, 由旋涡中心向外, 各层的含气率不同, 并且是逐渐减少的. 这是由于旋涡中心速度高而压力低, 旋涡外速度低而压力高, 这样密度较低的气泡就会被吸入旋涡中. 并且, 旋涡由内向外压力是逐渐增大的, 而速度是逐渐减小的.

从图 7、图 8 还可以看出, 旋涡中心的含气量明显高于其他地方, 图 7(a) 涡中心 $\bar{\alpha}_t$ 已超过 18%, 图 7(b) 涡中心 $\bar{\alpha}_t$ 已超过 10%, 图 8 涡中心 $\bar{\alpha}_t$ 已超过 15%.

应用电阻探针可以测定气液两相流中局部含气率. 但是, 由于电阻探针上液膜的影响作用, 测量精度将受到一定的影响. 当电阻探针快接近气相时, 原来和探针端部接触的液体会留有一层液膜在探针端部. 这层液膜使得电阻探针不能象理想情况那样立即测量出气相信号, 而是要延迟到液膜离开电阻探针端部时才输出气相信号. 因此, 气相的输出要延迟一段时间. 这方面的问题还有待进一步研究.

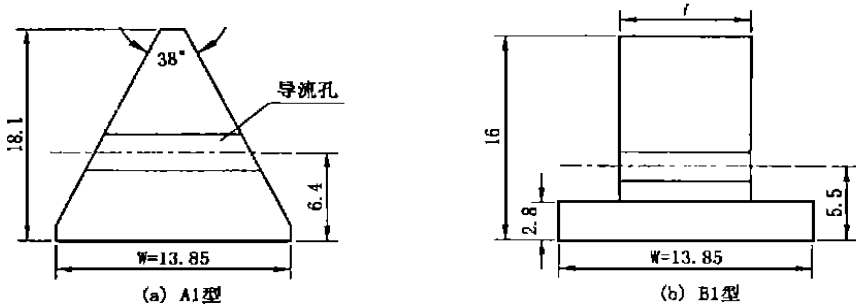
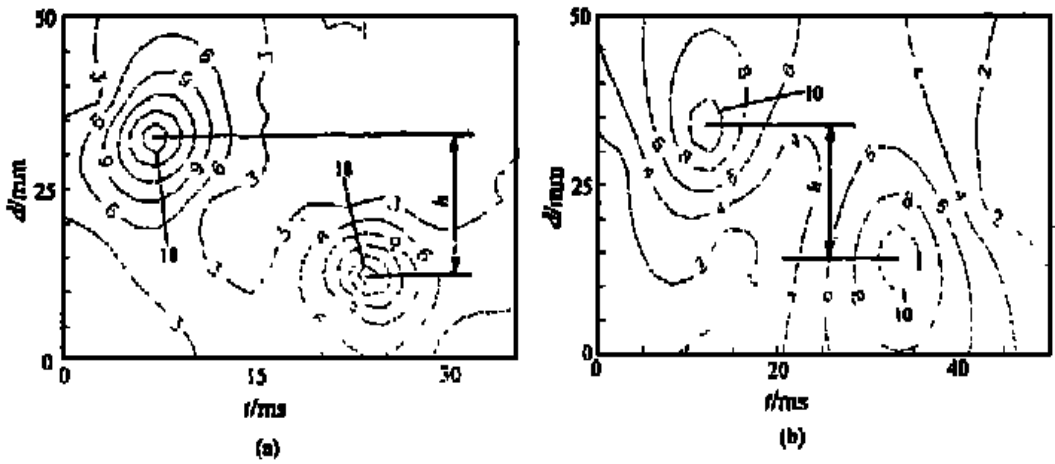
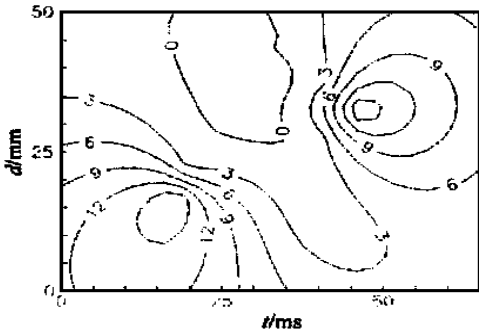


图6 涡街发生体



(a) $Q_L=14.0\text{ m}^3/\text{h}$, 来流截面含气率 $\alpha=0.040$ (b) $Q_L=10.0\text{ m}^3/\text{h}$, 来流截面含气率 $\alpha=0.040$
(曲线中数字表示 $\bar{\alpha}_t$ 值的百分数, h 为涡街间隔)

图 7 梳状电阻探针



$Q_L=14.0\text{ m}^3/\text{h}$, 来流截面含气率 $\alpha=0.040$
(曲线中数字表示 $\bar{\alpha}_t$ 值的百分数, h 为涡街间隔)

图 8 B1 型物体旋涡中的含气率分布

3 结 论

- 1 利用 9 针梳状电阻探针并配合计算机采集系统测量了水—空气两相流的旋涡的结构及物体尾流中的含气率分布。
- 2 水—空气两相流的旋涡中,由旋涡中心向外,各层的含气率不同,含气率逐渐减少,并且,旋涡由内向外压力是逐渐增大的,而速度是逐渐减小的。

3 水—空气两相流的旋涡中心的含气量远
比来流含气量高(最高的 $\bar{\alpha}_t$ 值可超过来流的 8 倍
以上)。

参考文献:

- [1] Geccio S L, George D L. A review of electrical impedance techniques for the measurement of multiphase flows[J]. J Fluid Engineering, 1996, 118: 391~399.
- [2] Yokosawa M, Kozawa Y, Inoue A, et al. Studies on two-phase cross flow, Part III: Characteristics of unsteady flow behavior [J]. Int J Multiphase Flow, 1986, 12(2): 186~302.
- [3] Hulin J P, Fierfort C, Condol R. Experimental study of vortex emission behind bluff obstacles in a gas-liquid vertical two-phase flow [J]. J Multiphase Flow, 1982, 8(5): 475~490.
- [4] Inoue A, Kozawa Y, Yokosawa M et al. Study on two-phase cross flow, Part I: flow Characteristics around a cylinder[J]. Int J Multiphase Flow, 1986, 12(2): 149~167.
- [5] 李永光. 气液两相涡街特性研究. 西安交通大学博士论文, 1995.
- [6] 李海青等. 两相流参数检测及应用[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1991.
- [7] [美] R.W 米勒编著, 孙延祚译. 流量测量工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [8] 林宗虎. 气液固多相流测量[M]. 北京: 中国计量出版社, 1988. 215.

A Measuring Device for Structure of Gas-liquid Two-phase Vortex

LI Yong-guang¹, MA Xin-xia², WANG Song-ling², LIN Zong-hu³

(1. *Shanghai Institute of Electric Power, Shanghai 200090, China;*

2. *North China Electric Power University, Baoding 071003, China;*

3. *Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China*)

Abstract: Nine-needle comb-type electric impedance probe is suggested to measure the structure of gas-liquid two-phase vortex. By using the probe, the distribution of void fraction inside the vortex is measured. Through a computer data acquisition system, the distribution of void fraction in wake is shown.

Key words: nine-needle comb-type electric impedance probe; gas-liquid mixture; vortex