

# 气泡-水流两相流的激光多普勒法测量

路展民 李广达 彭五顺 谭长虹

(中国科学院力学研究所)

**提要** 为区分激光多普勒稀态两相流动测量中出现的流体相信号和颗粒(气泡、液滴)相信号,本文提出可见度和基座的复合判别法,并设计了专用的信号预处理器。此预处理器能将原始多普勒信号分为两路,分别代表两相,并可用计数型信号处理器测量每路的速度及其它统计量。使用本方案对矩形管道内低速气泡-水两相流的实验和测量表明,对两相的区分和测量是成功的。文中给出了两相速度、湍流度和气泡滑移速度的测量结果。

**关键词** 两相流、气泡-水流、激光多普勒测速。

## 一、引言

近年来,使用激光多普勒技术测量两相流动的研究工作逐渐增多[8]、[9]。这种技术有不干扰流动,能在流动现场及时地测量两相速度,并在一定条件下测量分散相(包括固体颗粒、液滴、气泡等)的尺寸和浓度的优点。激光多普勒法测量两相流动的基本途径是通过跟踪微粒和颗粒产生的多普勒信号的区分,分别测量微粒的速度和颗粒的速度,用能追随流体运动的微粒的速度表征流体相的速度。但是在这些研究工作中,也反映出分辨和测量粒度的复杂性。一是由于粒子散射光强与粒度之间缺乏较理想的单值、单调关系,很难在宽的范围内获得实用的粒度——信号幅值关系函数。二是由于探测体积内光强分布的不均性,使按多普勒信号的幅值信息测量粒度增加了困难。目前已出现的一些激光测量两相流动的系统,多数使用专用的光学装置,或虽使用通常的光学装置,却在相当特殊的光学参数下工作。本文所提出并实现的方案的出发点,是在通常的激光多普勒测速和计数型信号处理器的基础上,仅增加一个预处理器,使其能在测速计通常应用的光学参数下,测量稀态的、分散相粒度在几十微米以上的两相速度。本方案采用可见度和基座复合的判别方法,来区分微粒信号和颗粒信号,以避免单独采用可见度法或基座法时存在的混淆现象。因为单独采用基座法时不能区分信号是来自微粒还是由通过探测体积边缘区的颗粒所产生,单独用可见度法时不能区分信号是来自颗粒还是由流体中存在的尺寸较大的微粒所产生。此外,本方案采取在模拟信号阶段划分开流体相多普勒信号和颗粒相多普勒信号的方法,可以直接使用计数型信号处理器即时地处理两相流多普勒信号。实践证明,区分后的信号与计数型之间的工作配合是成功的。

本文于1986年6月17日收到。

## 二、判别原理

对条纹型正前向散射的多普勒信号的可见度,由于假设参数或实验条件的差别,各研究者从计算或实验所得的函数的形状很不相同(1)、(2)、(3)、(4)、(5)。但是从这些不尽一致的资料,也能归纳出以下规律:适当选取发射角和接收相对孔径时,能使粒径 $dp$ 在几微米以下的粒子的信号,具有相当高的可见度值(大约在0.70以上),而与此同时, $dp$ 大于几十微米的大尺寸粒子的信号,仅具有相当小的可见度值。至于粒径处于上述两者之间的粒子的可见度,虽然从计算所得的理论曲线上,也能出现较高的次峰值,但这些次峰较窄,且幅值较低。因此在信号处理时,选取合适的条纹间距 $d$ ,接收相对孔径 $Ap$ ,以及一个代表较高的可见度值的鉴别电平,就可通过可见度幅值的鉴别,取得粒径在几微米以下的微粒产生的多普勒信号。另一方面,据现有计算和实验资料(4)、(6)、(7),对不太小的接收相对孔径,当透明介质颗粒的粒径大于几十微米时,其信号基座幅值与粒径之间有较简单的关系,沿曲线平均值上下的振荡也较小,但是这些信号的可见度却很低。若选取一代表较高基座幅值的鉴别电平,就可通过对基座幅值的鉴别,取得相当一部份大颗粒的信号,这些信号由于可见度幅值颇低而不会同时被误认为微粒信号。用式子来表达上述判别条件就有:

$Vis. > \text{设定值 } E_1, Aped. < \text{设定值 } F_1 \Rightarrow \text{微粒信号}$

$Vis. < \text{设定值 } E_2, Aped. > \text{设定值 } F_2 \Rightarrow \text{颗粒信号}$  其中  $Vis.$  为可见度值;  $Aped.$  为基座值;

$E_1, E_2, F, F_2$  均为鉴别电平值,

$E_2 < E_1; F_2 > F_1.$

本文的测量系统所使用的预处理器,即按上述两个判别条件的要求,设计出鉴别电路、控制电路。凡符合上述二条件之一的信号,就用计数型处理器作进一步的处理。这时进行的信号处理和单相情况下的已无本质的区别。此外,若流体中含有尺寸分布较宽但在几十微米以内的微粒,则仅有较小的微粒信号能被接受,而较大微粒的信号,由于不符合任一判别条件而将被舍弃。

## 三、测量系统

测量系统各主要部份示于图(1)中。由光电倍增管输出的原始信号先输送到预处理器。该处理器的作用是把测量速度的有效信号成分,经高通滤波以后的多普勒波群信号

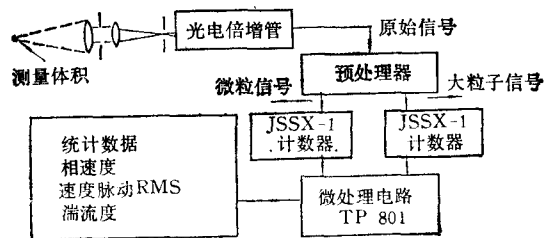


图1 测量系统图

分成两路,一路是由微粒产生的信号,另一路是由颗粒产生的信号。然后用计数型信号处理器分别测量这两路信号频率。所用的计数型处理器为我们自己设计的 JSSX-1 型计数式信号处理器,由一台 TP801 单板机与之配合,按预先设定的采样集合宽度进行数据采集和计算各种统计量。如速度平均值,速度脉动均方根值和相对湍流度等。

#### 四、气泡-水两相流的测量

利用上节中所述的测量系统和下述的实验装置,测量了垂直放置的小型矩形管道内带气泡水流的流动。雷诺数约为 8800。测出了两相轴向速度、湍流度及滑移速度沿管道的发展。

##### 1. 实验装置

如图(2)所示,截面为  $15 \times 25\text{mm}^2$ , 长为 500mm 的矩形有机玻璃管道垂直地放置。用小型水泵产生循环流动。水泵置于塑料水箱中。适当调整水箱内水

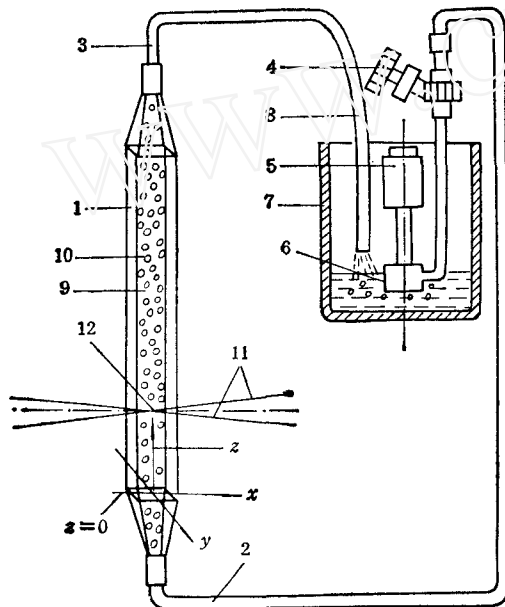


图 2 实验装置图

1. 测量管道, 2. 入口管, 3. 出口管, 4. 阀门, 5. 电动机, 6. 水泵, 7. 水箱, 8. 回水管, 9. 水流, 10. 气泡, 11. 激光束, 12. 测量点

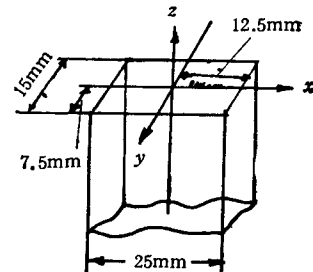


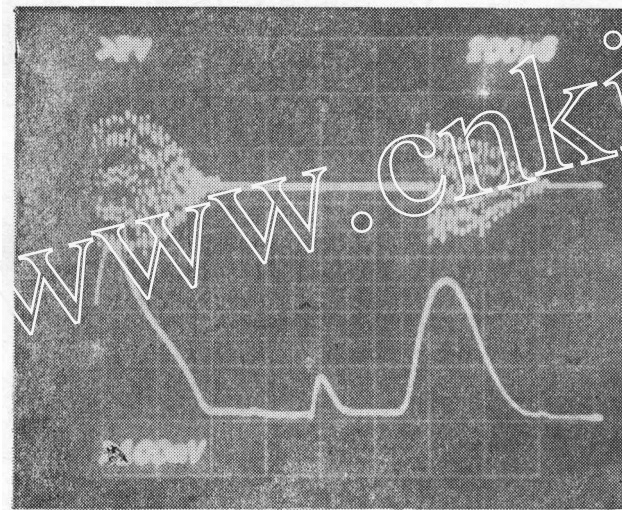
图 3 测量管道内部尺寸及坐标系的设置

位及回水管高度,就能产生带气泡水流。本文实验测量的气泡尺寸大部分为亚毫米量级。使用的激光多普勒测速计为一维条纹型系统,工作于前向散射方式和正前向接收。使用的 He-Ne 激光器功率约 5 毫瓦。激光光束经 2.2 倍扩束。在空气中的发射角为  $8.36^\circ$ 。接收部分的相对孔径  $F/\text{NO} = 16$ , 针孔直径为 0.15mm。速度-频率转换系数  $K = 230.2 \text{ KHz/M/S}$ 。坐标系的设置见图(3)。

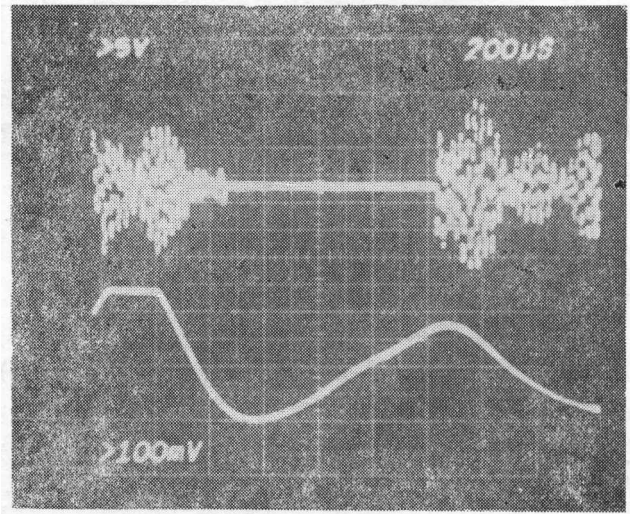
##### 2. 工作状态调整和波形观察

在过滤后的自来水工作介质中先加入适量的、名义尺寸为 3 微米的硅胶微粉,作流体相的示踪散射体,并使装置在不产生气泡的状态下运行。此时,选一基座触发电平  $V_{ped}$ ,使在此电平下由微粒产生的信号因基座太低而不能被触发,因此颗粒信号通道无输出。然后选一适当的可见度触发电平  $V_{vis}$ ,使微粒的可见度信号因幅值超过此电平而被触发。微粒的多普勒信号波群就能在微粒信号通道输出。然后使装置进入有气泡的两相状态下运

行。这时,由于气泡的可见度信号的幅值低于  $V_{th}$ ,因此气泡信号波群不能在微粒通道中出现。另一方面,由于气泡的基座信号的很多幅值高于  $V_{ped}$ 而被触发,因此在颗粒通道内有很多气泡信号波群出现,形成了分别代表两相的两道信号流。图(4)a示出微粒信号流(上)及相应的可见度信号流(下)。图(4)b示出气泡信号流(上)及相应的基座信号流(下)。



a. 上: 微粒信号 下: 相应可见度信号



b. 上: 气泡信号 下: 相应基座信号

图 4

通过实验,观察了气泡的多普勒信号波形特征。几十微米的气泡的波形与通常微粒产生的波形无区别。亚毫米以上的气泡的信号波群的包迹能出现多个峰值。其中不少波群有三个峰值,如图(5)a及b所示。这与 W. Martin 等人(7)所观察到的结果是一致的。实验中也观察到四个甚至更多峰值的波形,图(5)c示出其中之一。有很多多峰的波群,形状并不规则和对称。

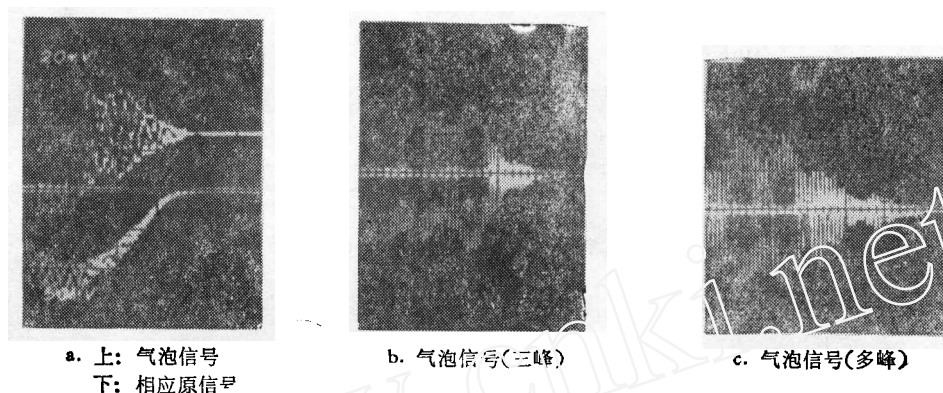


图 5 扫描速度:  $100\mu\text{s}/\text{cm}$

### 3. 测量结果

(1) 沿管道中心线(Z 轴)的两相轴向速度发展: 图(6)示出单相水流速度  $U$  及两相时水流速度  $U_w$  沿 Z 轴的发展. 两相时  $U_w$  的发展基本上与单相时  $U$  的发展相一致, 但在  $Z > 25\text{cm}$  处, 两相时  $U_w$  随 Z 轴的增长比单相时略快. 可认为是由于气泡的部分动量传输给水流的结果.

(2) 沿管道中心线(Z 轴)上气泡滑移速度的发展: 图(7)示出气泡速度  $U_b$  与水流速度  $U_w$  之差即气泡滑移速度  $U_s$  沿 Z 轴的发展. 在  $Z < 20\text{cm}$  处  $U_s < 0$ ,  $Z > 20\text{cm}$  处  $U_s$  逐渐增大并趋向一稳定值.

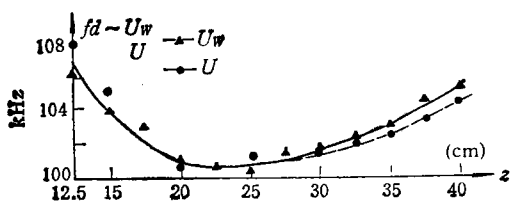


图 6 沿 Z 轴水流速度,  $U_w$  —— 两相  $U$  —— 单相

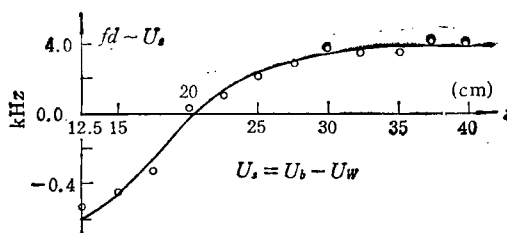


图 7 沿 Z 轴气泡滑移速度

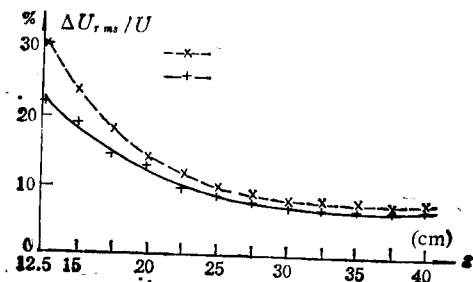
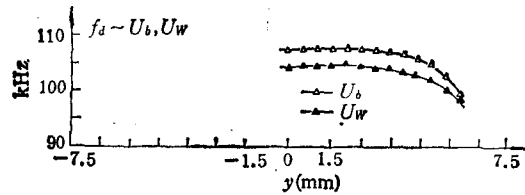
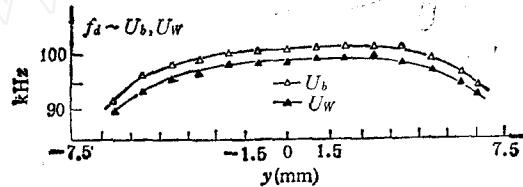
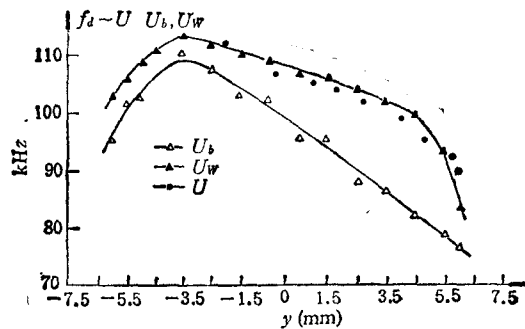


图 8 沿 Z 轴湍流度

图 9 沿 Y 轴两相速度 ( $Z = 36\text{cm}$ )

(3) 沿 Y 轴的轴向速度分布: 图(9)、(10)、(11)分别示出在  $Z = 36\text{cm}$ 、 $25\text{cm}$ 、 $12.5\text{cm}$  三个横截面上轴向速度沿 Y 轴的分布。在  $Z = 12.5\text{cm}$  处, 两相速度均受不规则的入口状况的影响, 分布很不对称。在远离入口的 Z 值部位上, 分布愈益规则。

(4) 湍流脉动的发展: 图(3)示出沿管道中心线两相湍流脉动相对值的发展。气泡速

图 10 沿 Y 轴两相速度 ( $Z = 25\text{cm}$ )图 11 沿 Y 轴两相速度及单相(水)速度 ( $Z = 12.5\text{cm}$ )

度的脉动普遍比水流的大, 特别是在接近入口的一段更为明显。在  $Z = 12.5\text{cm}$  处, 两相脉动都很大, 气泡达 33%, 水流达 23%。沿管道发展时, 脉动逐渐减小, 两相脉动差别也随之减少。约在  $Z = 30\text{cm}$  处, 脉动趋于恒定且差值已很小。在  $Z = 36\text{cm}$  处, Y 轴上轴向速度脉动的范围是: 水流相从中心处的 6% 至近壁区达 9%, 相应的气泡相的值为 7% 和 10%。

## 五、结 论

实验和测量结果表明, 本文提出的用来区分两相速度的复合判别法, 以及相应的信号处理系统, 能区分流体连续相和尺寸较大的分散相两者的速度, 只要微粒信号波群及分散

体信号波群彼此极少重叠,而且分散体尺寸比微粒尺寸大致少一个量级以上。对于气泡-水流轴向参数沿管道发展的测量结果也与对两相间相互影响的定性分析相符合,但仅依靠本文的方法还不能定量确定气泡尺寸及其和速度的一一对应关系。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Farmer, W. M. "Measurement of Particle Size, Density and Velocity Using a Laser interferometer" *Appl. Opt.*, 11(1972), 2603.
- [ 2 ] Robinson, D. M. Chu, W. P. *Appl. Opt.*, 14(1975), 2177.
- [ 3 ] Durst, F. Eliasson, R. "Property of Laser Doppler Signals and their exploitation for Particle Size Measurements", Proc. LDA-Symp. Copenhagen, (1975), 437.
- [ 4 ] Ogden, D. M. Stock, D. E. "Simultaneous Measurement of particle Size and Velocity Via the Scattered Light Intensity of a Real Fringe Laser Anemometer" «Laser Velocimetry and Particle Sizing», Edited by Thompson, H. D. Stevenson, W. H. (1979).
- [ 5 ] Neges, C. R. Drain, L. E. «J. Phys. D: Appl. Phys.» 15(1982), 375.
- [ 6 ] Ungut, A., Yule, A. et al., "Simultaneous Velocity and Particle Size Measurements in Two phase Flows by Laser Anemometry" «AIAA 16th Aerospace sciences Meeting», Paper (1978), 78—74.
- [ 7 ] Martin, W. W. Abdelmeasin, A. H. Liska, J. J. Durst, F. "Characteristics of Laser Doppler Signals from bubbles" «Int. J. Multiphase Flow» 7, No. 4, (1981), 439.
- [ 8 ] Lee, S. L. Durst, F. "On the Motion of Particles in Turbulent Duct Flow" «Int. J. Multiphase Flow» (1981).
- [ 9 ] Ohba, K. Yuhara, T. "Velocity Measurements of both phases in Two-phase Flow Using Laser Doppler Velocimeter" «Measurement of Flow», Edited by. H. YAMASAKI (1979).

## LDA MEASUREMENTS OF BUBBLE-WATER TWO-PHASE FLOW

Lu Zhanmin, Li Guanda Peng Wushun, Tang Changhong

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract** In this paper, a compound discrimination method has been proposed. It utilizes a combination of pedestal and visibility information embedded in each LDA burst to separate micro-particle and large particle of dilute two-phase flow. According to this method, a preprocessor has been designed and built to carry out the discrimination. By using this pre-processor, initial signal flow originating from PMT of LDA can be processed and separated into two trains, each of which corresponds to one phase of the flow, and a counter type processor can be used in each train to measure velocities of the two phases as is usually done with single phase flow. The application of this system to the measurements and experiments of low velocity ( $Re$  about 8800) bubble-water flow shows that the separation and measurements are successful.

**Key words** two-phase flow, bubble-water flow, laser doppler anemometry