

文章编号 1004-924X(2002)06-0639-05

# 二维计数跟踪型激光多普勒测速系统的智能化及其应用

刘昌文, 程文明, 刘 杰

(天津大学 机械工程学院 汽车工程系, 天津 300072)

摘要: 二维计数跟踪型激光多普勒测速系统利用两个计数跟踪光电混合反馈环路来分离并测量速度的二维分量。通过智能控制, 寻找适当的初始光学频移档次, 使得光电信号的有效频率成分分别进入各自对应的信号处理器处理带宽内, 同时监视 LDA 的工作状态, 对采集得到的两个环路的光电信号频率及相应的光学频移量, 进行一系列的信号处理工作, 最终可获得测量点的二维速度分量。二维智能计数跟踪型 LDA 在非对称扩管道的流场测量中的应用结果, 证实了该套系统的研制是成功的。

关键词: 激光多普勒测速; 智能控制; 频移档次; 带宽

中图分类号: TN247 文献标识码: A

## 1 引言

激光多普勒测速技术(LDA)<sup>[1]</sup>在流体力学、燃烧、水利、化工等科学领域的不定常复杂流动测量研究方面有着广泛的运用。对于不定常脉动流的研究, 往往需要同时测量二维速度分量, 图1是可用于对不定常脉动流研究的二维智能计数跟踪型激光多普勒测速系统原理图<sup>[2]</sup>: 利用两个计数跟踪光电混合反馈环路分离二维速度分量信息, 分别通过采集信号、信息处理等工作来获得二维速度分量的大小。

为了在使用固定的较窄带宽计数器的前提下能测量较大范围变化的运动速度, 采用了光电混合反馈方法<sup>[3,5]</sup>和频率跟踪技术。对于某一环路, 设某一时刻的光学频移档次为  $n$  (对应的光学频移量为  $n \cdot \Delta f_s$ ), 则光电信号的频率  $f_R$  为:

$$f_R = n \cdot \Delta f_s - f_D$$

$f_D$  为多普勒频率, 它与被测速度  $V$  之间的关系为:

$$f_D = 2 \cdot V_{\perp} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} / \lambda = 2 \cdot V \cdot \cos \theta \cdot \sin \frac{\alpha}{2} / \lambda$$

$\lambda$  为激光的波长;  $V_{\perp}$  为被测速度在 LDA 测量方向上的投影。

可见, 为使 LDA 光路中引入的光学频移量大致跟随多普勒频率也即被测速度大范围变化, 同时维持光电信号频率只在较窄的计数器处理带宽内变化, 需要找到适当的光学频移档次。因此, 寻找初始光学频移档次  $n_{10}$ 、 $n_{20}$ , 使两路有效的光电信号频率分别落入固定的较窄的两路计数型信号处理器的处理带宽内, 也就是让两个环路捕捉被测速度, 使整个仪器进入正常的计数跟踪状态, 是进行有效测量的前提, 也是二维计数跟踪型 LDA 智能控制中的关键。

收稿日期: 2002-03-11; 修订日期: 2002-09-05

基金项目: “高等学校骨干教师资助计划”和“国家自然科学基金”资助项目(No. 50076033)

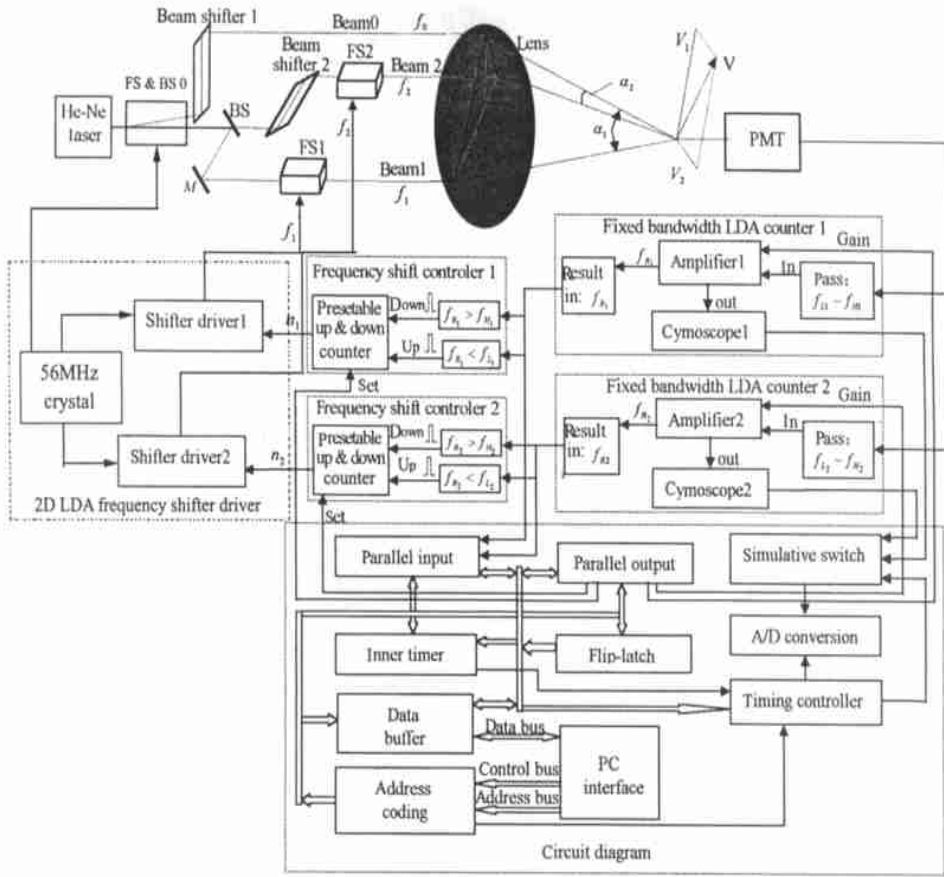


图 1 二维智能计数跟踪型 LDA 智能控制原理图

Fig. 1 Schematic of the two-dimensional intelligent counting and tracking laser Doppler anemometry.

(BS: beam splitter, FS: frequency shifter)

## 2 计数跟踪型 LDA 的智能控制及其工作过程

二维计数跟踪型 LDA 系统正常工作时两环路分别在某一频移档次时会出现较高的光电信号强度,如图 2 所示。其对应的频率即为多普勒频率。找到此刻的频移档次,即可以计算出相应的多普勒频率。

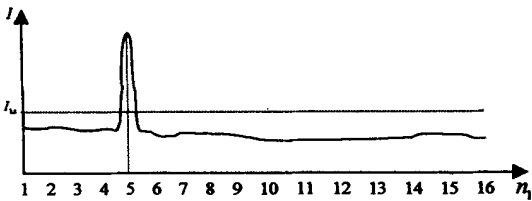


图 2(a) 光电信号强度 I 随 n1 的变化图

Fig. 2(a) Relationship between I and n1 .

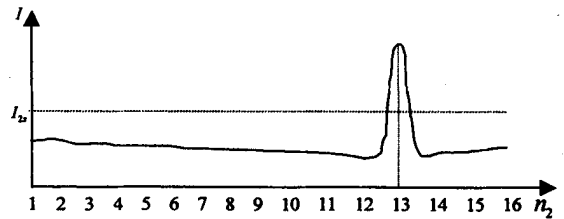


图 2(b) 光电信号强度 I 随 n2 的变化图

Fig. 2(b) Relationship between I and n2 .

寻找  $n_{10}$ 、 $n_{20}$  的原理类似于 LDA 中的频谱分析技术<sup>[6]</sup>: 微机从低到高扫描光学频移量, 同时通过 A/D 接口得到对应每一频移档次的光电信号强度, 并求出最大的光电信号强度  $I_m$  对应的频移档次  $n_m$ 。  $n_m$  是否可能所需的初始光学频移档次, 还要先作以下的判断: 将  $I_m$  与使用者所设

置的信号强度  $I_s$  比较, 如果  $I_m < I_s$ , 则否定, 说明光电信号较弱, 微机增大计数型信号处理器中程控增益放大器的放大倍数, 然后再次寻找  $I_m$  和  $n_m$ ; 当增益调至最大时仍没有合适的  $n_m$ , 即对应的  $I_m$  仍小于  $I_s$ , 则说明输出的光电信号太弱或  $I_s$  设置的太大, 需要相应的考虑更换较大功率的激光发生器或降低  $I_s$  的设置值。只有出现了  $I_m$  大于  $I_s$ , 对应的  $n_m$  才可以作为可能的初始光学频移档次, 等待进一步的判别。

二维 LDA 中光电信号的频谱结构较复杂, 寻找某一环路的初始光学频移档次时, 必须将另一环路的光学频移值设为最大值。也就是, 寻找环路 1 的初始光学频移档次  $n_{10}$  时, 将环路 2 的光学频移档次  $n_2$  置为 16; 寻找  $n_{20}$  时置  $n_1$  为 16。微机寻找得到了两个环路可能的初始光学频移档次  $n_{1m}$  和  $n_{2m}$  后, 再作进一步的处理, 将  $n_{1m}$  和  $n_{2m}$  输入二维差分驱动源, 并监视两路光电信号的强度, 如果光电信号的强度仍然较大, 则将  $n_{1m}$  和  $n_{2m}$  作为初始的光学频移档次, 否则重新返回开始寻找, 直到得到合适的两个初始光学频移档次为止。之后, 进入实测阶段, 对两维速度分量进行测量并显示的同时, 检测光电信号的强度, 以确定二维 LDA 系统已处于正常的工作状态。微机得到需要开始测量的信息后, 立即按用户设置的数据采集参数开始正式测量, 采集两个环路的光电信号频率和光学频移量, 计算两个分量对应的多普勒频率值, 求出瞬时运动速度的大小和方向, 测试过程中也同时监视整个仪器的工作状态, 必要时重新捕捉被测速度。微机按用户要求, 采集到所需的数据点数后, 可选择进入数据处理状态, 对测量的数据作统计分析, 如计算平均速度的大小和方向, 求概率密度函数, 频谱分析和结果打印输出等。图 3 所示是智能二维计数跟踪型 LDA 的工作流程图。

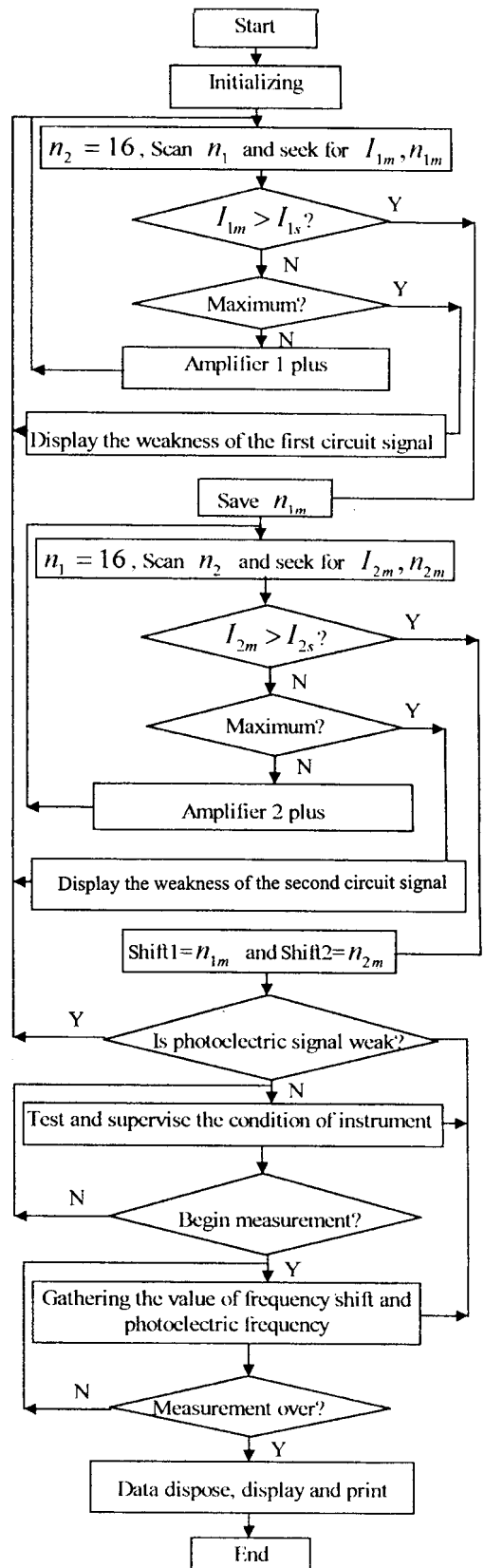


图 3 二维计数跟踪型 LDA 工作流程图

Fig. 3 Flow chart of the two-dimensional LDA.

### 3 二维计数跟踪型 LDA 的应用

作为应用研究,我们用二维智能计数跟踪型 LDA 对非对称突扩管道中的流场进行了测量。该流场是一种比较典型的二维流场。流动模型的形状及尺寸如图 4 所示。

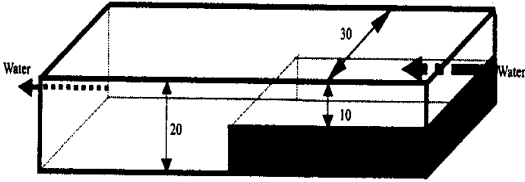
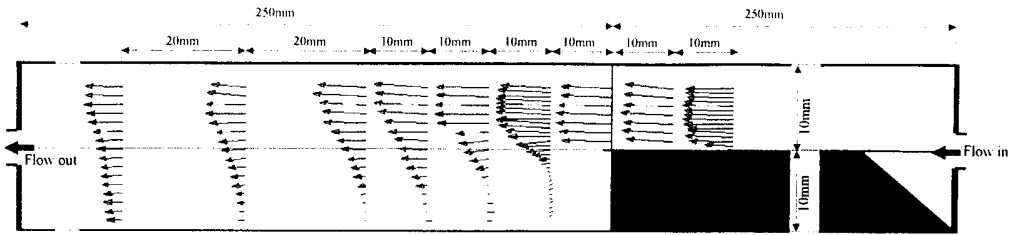


图 4 突扩管道流动模型的形状及尺寸

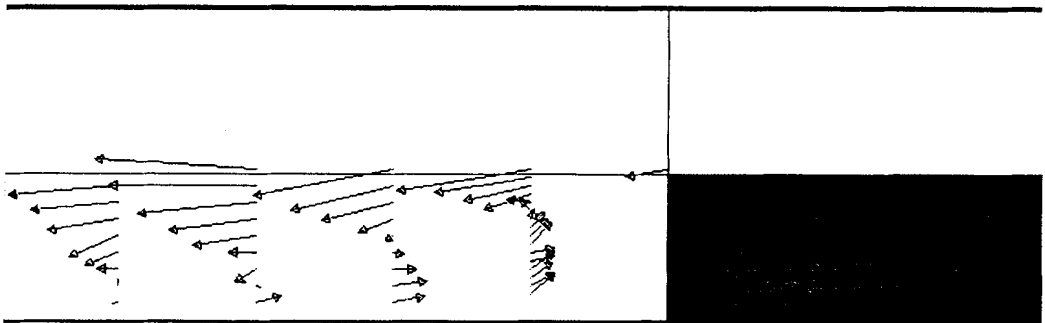
Fig. 4 Shape and size of the flowing model of asymmetric sudden wide pipe.

图 5(a) 所示是实测到的不同截面上纵向平均流速分布图,实验条件是,水流量每分钟 10 升,测得的入口处中心流速 36cm/s,以台阶高度为特征尺寸,计算的雷诺数为  $R_e = 3600$ 。实验曲线表明,台阶的存在使速度出现了分离,在台阶附近区域有回流,出现了旋涡,这一现象在图 5(b) 所示的台阶附近流速分布放大图中表现得更为明显。此结果与前人报导的实验结果一致<sup>[7,8]</sup>。



(a) 突扩管道流场平均速度分布图

(a) Average flowing velocity distribution chart in the asymmetric sudden wide pipe.



(b) 台阶附近流场分布放大图

(b) Enlarged average flowing velocity distribution chart around the step

图 5 系统实测的突扩管道内流场平均速度分布图

Fig. 5 Average flowing velocity distribution chart in the asymmetric sudden wide pipe measured by the system.

## 4 结 论

采用三光束光路结构和光电混合反馈技术,选取两个合适的环路参数构成两个独立的计数跟踪环路,分别测试速度的两个分量构成的二维计数跟踪型激光多普勒系统,通过微机系统的接口

电路使得系统自动进入正常的计数跟踪状态,大大方便了测速系统的使用操作,并使得数据处理软件编制容易,同时具有结果显示和工作状态实时监视的功能。二维智能计数跟踪型 LDA 系统在非对称突扩管道中的流场的实际运用,证实了该系统的研制是成功的。

### 参考文献:

- [1] 王仕康,沈熊.激光多普勒技术[M].北京:清华大学出版社,1985.
- [2] 刘昌文,刘杰,孙其超,等.二维计数跟踪型激光多普勒测速研究[J].中国激光,1999,26(12):1118\_1122.
- [3] 王仕康,郭晓明,刘昌文,等.激光多普勒测速仪的一种光电调制反馈方法[P].国家发明奖,:项目编号,90\_12\_137
- [4] Guo A, Wang X M, Liu S K, *et al.* New LDA system utilizing the optic\_electro\_hybrid feedback technique[J]. *Measurement science and Technology*. 1990,1(3):265\_271.
- [5] 刘昌文,路维,刘杰.一种基于PC微机的新型激光多普勒信号处理器研究[J].光学精密工程,2002,10(2):130\_134.
- [6] 刘昌文,李恩邦.智能计数跟踪型激光多普勒测速装置[R].天津:天津大学热能研究所,1993.
- [7] 于和生,沈熊.应用二维偏振型频移激光测速系统测量二维流场[A].第二届全国实验流体力学会议论辩汇编[C].中国力学学会,1984.
- [8] 滕国伟,庄文,刘维亚.智能化多信道串行通讯控制器的实现[J].光学精密工程,2001,9(6):66\_68.

## Intelligent control and application of two\_dimensional counting\_tracing LDA measurement system

LIU Chang\_wen, CHENG Wen\_ming, LIU Jie

(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Two components of velocity are distinguished and measured by two closed optic\_electro\_hybrid feedback loops for counting and tracking in a two\_dimensional counting\_tracing LDA measurement system. The effective frequencies of optical electric signals are sorted automatically into the corresponding scopes of bandwidth of signal processors, respectively at certain optical frequency shift grades. At the same time, a personal computer supervises the station of the LDA system. The two\_dimensional velocities are obtained after a series of disposals of the optical electronic signal frequencies and the optical frequency shifts. In this paper, the application of a two\_dimensional counting and tracking LDA measurement system in the flowing measurement of asymmetric sudden wide pipe confirms the successful development of the system.

**Key words:** LDA(laser Doppler anemometry); intelligent control; frequency shift grade; bandwidth

作者简介:刘昌文(1963-),男,四川省富顺人,教授,博士,多年从事激光测速技术和微机测控技术研究。